



## DECKBLATT

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.
N A A N	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9K	352126.39	-	-	-	-	E6A EAG	RB	0007	00

Titel der Unterlage

Modellrechnung zur Grundwasserbewegung mit dem Programm FEM 301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell (Band I-IV)

*EU 210*

Seite

I

Stand

Nov. 1988

Ersteller

Textnummer

Stempelfeld

PSP-Element TP 2: 9K/2122423

zu Plan-Kapitel: 3.1.10.4

PL



Freigabe für Behörden

PL



Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.



# REVISIONSBLATT

Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Funktion	Komponente	Baugruppe	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
N A A N	NNNNNNNNNN	NNNNNN	NNAAAANN	AANNNA	AANN	XAAXX	AA	NNNN	NN
9K	352126.39	-	-	-	-	EAG	RB	0001	00

Titel der Unterlage:

Modellrechnung zur Grundwasserbewegung mit dem Programm  
 FEM 301 für ein alternatives geologisches/hydrogeolo-  
 gisches Modell  
 (Band I-IV)  
 zu Kapitel: 3.1.10.4

EU 210

Seite

II

Stand

Nov. 1988

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Änderung  
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

**MOTOR COLUMBUS INGENIEURUNTERNEHMUNG AG**  
**BADEN/SCHWEIZ**

**Schachtanlage Konrad, Salzgitter**  
**Modellrechnungen mit dem Programm FEM 301**  
**für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell**  
**Auftrags-Nr. 9K 352126.39**

**SCHLUSSBERICHT**

**Band I: Textteil**

**15. November 1988**



Der Bericht wurde im Auftrag der **PHYSIKALISCH TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB)** erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Schachtanlage Konrad, Salzgitter: Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell

Hydrodynamische Modellierung, Finite Element Modell, Tiefengrundwasserflüsse, Fließwege, Fließzeiten

Für die hydrogeologische Modellierung der Tiefengrundwasser wurde ein Finite Element Modell aufgebaut, welches neben dem Schichtaufbau des Untergrundes die hydraulisch wirksamen Störungen und Störzonen berücksichtigt. Das Elementnetz umfasst rund 6 000 Elemente und 21 000 Knoten und beschreibt die komplizierte geometrische Struktur in guter Näherung.

Die hydraulischen Schichteinheiten werden als isotrope, poröse Medien, die Tonsteine des Dogger, des Lias und des Keuper als schichtparallel anisotrope Wasserleiter simuliert. Innerhalb der Störzonen bestimmt ein gemeinsamer Faktor die Veränderung der Durchlässigkeitsbeiwerte aller Schichten mit Ausnahme von Alb, Hilssandstein und Rhät.

Der Einfluss der verschiedenen Parameter wurde mit insgesamt 10 Rechenfällen untersucht. Als Hauptergebnisse der Modellierung werden die Wasserfließwege und -fließzeiten vom Grubengebäude zur Biosphäre, die verschiedenen Austrittsorte sowie die Wasserflussraten durch das Grubengebäude dargestellt und diskutiert. Die Fließzeiten liegen zwischen 0,3 Mio und über 100 Mio Jahre, wobei Fließzeiten unter 1 Mio Jahre nur bei erhöhter Durchlässigkeit des Deckgebirges oder vereinzelt unter speziellen Verhältnissen auftreten. Der Wasserfluss durch das Grubengebäude liegt zwischen 1 und 5 l/min.



INHALTSVERZEICHNIS

Band I: TEXTTEIL

	Seite
ZUSAMMENFASSUNG	i
INHALTSVERZEICHNIS	ii
<b>1</b> <b>EINLEITUNG</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1      ZIELSETZUNGEN . . . . .	1
1.2      PERSONAL . . . . .	1
1.3      VORGABEN . . . . .	1
1.4      DER STANDORT KONRAD . . . . .	2
1.5      ÜBERBLICK ÜBER GEOLOGIE UND HYDROGEOLOGIE . . . . .	2
1.6      DAS GRUBENGEBÄUDE . . . . .	3
<b>2</b> <b>MODELLIERUNG SWIFT</b> . . . . .	<b>4</b>
2.1      RECHENPROGRAMM SWIFT . . . . .	4
2.2      BESCHREIBUNG DES GRUNDWASSERMODELLS DER SWIFT-MODELLIERUNG . . . . .	5
2.2.1      Ziele . . . . .	5
2.2.2      Randbedingungen . . . . .	5
2.2.3      Diskretisierung des Modellgebietes . . . . .	6
2.2.4      Übertragung der geologischen Verhältnisse in das SWIFT-Modell . . . . .	7
2.3      HYDRAULISCHE EINGANGSDATEN . . . . .	8
2.4      ERGEBNISSE DER SWIFT-MODELLIERUNG . . . . .	8
<b>3</b> <b>FE-MODELLIERUNG</b> . . . . .	<b>9</b>
3.1      BASISVORGABEN DER PTB FÜR DAS ALTERNATIVE GEOLOGISCHE/HYDROGEOLOGISCHE MODELL . . . . .	9
3.1.1      Geometrie der hydrogeologischen Schichtein- heiten und der Störzonen . . . . .	9
3.1.2      Modellgrenzen . . . . .	9
3.1.3      Durchlässigkeitsbeiwerte und Porositäten der hydrogeologischen Schichteinheiten . . . . .	10
3.1.4      Geometrie des Grubengebäudes . . . . .	11
3.1.5      Grundwasserspiegel . . . . .	11
3.1.6      Grundwasserneubildungsrate . . . . .	12
3.1.7      Randbedingungen . . . . .	12
3.2      MODELLKONZEPT . . . . .	12
3.2.1      Vereinfachungen und Modifikationen . . . . .	12
3.2.1.1      Schichteinheiten . . . . .	13
3.2.1.2      Salzstöcke . . . . .	13
3.2.1.3      Störungen und Störzonen . . . . .	14
3.2.2      Modellgrenzen und Randbedingungen . . . . .	16

INHALTSVERZEICHNIS (Fortsetzung)		Seite
3.2.3	Schichteinheiten . . . . .	17
3.2.4	Störzonen . . . . .	18
3.2.5	Grubengebäude . . . . .	18
3.2.6	Anisotropie . . . . .	19
3.3	MODELLBESCHREIBUNG . . . . .	19
3.3.1	Vorgehen . . . . .	19
3.3.1.1	Preprocessing-Phase . . . . .	20
3.3.1.2	Rechenphase . . . . .	21
3.3.1.3	Postprocessing-Phase . . . . .	21
3.3.2	Das FE-Modell Konrad . . . . .	22
3.3.2.1	Modellmerkmale . . . . .	22
3.3.2.2	Modellschnitte . . . . .	22
4	<b>ERGEBNISSE . . . . .</b>	<b>26</b>
4.1	ÜBERSICHT ÜBER DIE RECHENFÄLLE . . . . .	26
4.1.1	Störzonenmodell . . . . .	26
4.1.2	Schichtenmodell . . . . .	28
4.2	POTENTIALE . . . . .	28
4.2.1	Referenzfall R01 . . . . .	29
4.2.1.1	Potentialverteilung südlich des Konrad- Grabens . . . . .	29
4.2.1.2	Potentialverteilung nördlich des Konrad- Grabens . . . . .	31
4.2.1.3	Randbedingung im Tal der Fuhse . . . . .	32
4.2.1.4	Vergleich mit den heutigen Zuflussraten zum Grubengebäude . . . . .	33
4.2.2	Rechenfälle R02 bis R07, R11 bis R13 . . . . .	34
4.3	GRUNDWASSERNEUBILDUNG . . . . .	37
4.4	DURCHFLUSS DURCH DAS GRUBENGEBÄUDE . . . . .	39
4.4.1	Einleitung . . . . .	39
4.4.2	Ergebnisse . . . . .	40
4.4.3	Schlussfolgerungen . . . . .	42
4.5	FLIESSWEGE . . . . .	42
4.5.1	Grundlagen . . . . .	42
4.5.1.1	Methode der Fließwegberechnung . . . . .	42
4.5.1.2	Das Rechenprogramm TRACK . . . . .	43
4.5.1.3	Startpunkte . . . . .	44
4.5.2	Ergebnisse . . . . .	45
4.5.3	Diskussion der Fließwege . . . . .	47
4.5.4	Betrachtung über die Fließwege im Oxford . . . . .	49
5	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN . . . . .</b>	<b>52</b>
5.1	MODELLIERUNG . . . . .	52
5.2	MODELLERGEBNISSE . . . . .	52

INHALTSVERZEICHNIS (Fortsetzung) Seite

Literaturverzeichnis . . . . .	55
Verzeichnis der Tabellen . . . . .	60
Verzeichnis der Abbildungen . . . . .	62
Verzeichnis der Anhänge . . . . .	63

Band II: TABELLEN UND ABBILDUNGEN

Band III: ANHANG A  
ANHANG B

Band IV: ANHANG C

## 1 EINLEITUNG

### 1.1 ZIELSETZUNGEN

Am 27.10.1987 ist der Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig der Auftrag erteilt worden, im Rahmen der Erarbeitung der notwendigen Unterlagen für das Planfeststellungsverfahren Konrad Modellrechnungen zur Grundwasserbewegung mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell durchzuführen.

Hauptziel der Rechnungen mit dem alternativen Modell ist die Bestimmung potentieller Fließwege und Wasserlaufzeiten. Die Modellierung einer unterstellten Radionuklid-Ausbreitung mit Tiefenwässern aus dem Bereich des Grubengebäudes bis in die Biosphäre ist nicht Gegenstand des Auftrages.

### 1.2 PERSONAL

Die Arbeiten werden durch folgendes Personal der Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG abgewickelt:

Projektleitung:

Geologie :

Modellierung :



### 1.3 VORGABEN

Der erste Teil der Aufgabe besteht in der Umsetzung der geologischen/hydrogeologischen Daten des Modellgebietes und des Grubengebäudes in ein dreidimensionales Finite-Element-Netz.

Ausgangspunkt und Grundlage dazu ist der von der PTB vorgegebene Modelldatensatz, der durch die Unterlagen [1], [4], [9] bis [16], [18] bis [30] dokumentiert ist. In jüngster Zeit sind die Dokumente [4], [11], [19], [21], [25], [26] und [28] im Dok. [35] zusammengefasst worden.

1.4 DER STANDORT KONRAD

Der Standort des geplanten Endlagers KONRAD liegt im südöstlichen Niedersachsen zwischen Braunschweig und Salzgitter im Übergangsbereich vom norddeutschen Tiefland zum mitteldeutschen Bergland. Die weitere Umgebung des Standortes im Hinblick auf mögliche Fließwege ist der Raum Braunschweig sowohl südlich als auch nördlich des Mittellandkanals. Das betrachtete Gebiet steigt leicht von Norden nach Süden an, zeigt aber nur eine geringe orographische Gliederung.

1.5 ÜBERBLICK ÜBER GEOLOGIE UND HYDROGEOLOGIE

Das Untersuchungsgebiet bildet den Übergang von den nördlichsten Ausläufern des niedersächsischen Berglandes zum norddeutschen Flachland im Bereich der regionalen nach Norden gerichteten Abflussgebiete von Oker, Innerste, Fuhse und Aller. Dieses Gebiet ist Teil des früher "Gifhorner Trog" bezeichneten Randsenkensystems östlich der Salzstöcke Broistedt, Rolfsbüttel-Wendeburg und Gifhorn. Der Verlauf der Salzstöcke und Randsenken folgt der rheinischen Streichrichtung (NNE-SSW). Die Randsenken werden durch herzynisch (WNW-ESE) streichende tektonische Querelemente untergliedert. Die stratigraphische Schichtreihe im Untersuchungsgebiet umfasst Gesteine vom Zechstein bis ins Quartär. Die Schichtenfolge ist in Tabelle 1-1 zusammengefasst.

Das hydraulische Regime wird durch das Potentialgefälle und die Mineralisation des Grundwassers, durch die hydraulischen Eigenschaften, die räumliche Struktur und die Verbreitung der Gesteine bestimmt, wobei ein stark ausgeprägter Stockwerksbau besteht. Das oberflächennahe Grundwasserstockwerk ist im wesentlichen in den Quartärablagerungen ausgebildet und steht mit den lokalen Vorflutern in hydraulischer Beziehung. Die tieferen Stockwerke sind in einzelnen wasserleitenden mesozoischen Gesteinsschichten ausgebildet, die grösstenteils durch mächtige, sehr gering wasserleitende Tonschichten voneinander getrennt sind. Mehrere der als Wasserleiter anzusehenden Gesteinseinheiten sind aufgrund verschiedener Ursachen (Faziesänderung, Tektonik, Transgression) in der Verbreitung begrenzt.

Die einzelnen, durch die wasserleitenden Gesteinseinheiten gebildeten Grundwasserstockwerke sind nicht durchwegs streng voneinander getrennt. Tektonische Störungen bringen an verschiedenen Stellen die Grundwasserstockwerke der Gesteinseinheiten miteinander in Kontakt und stellen teilweise überdies Störzonen dar,

die erhöhte Transmissivitäten aufweisen können. Weiter können innerhalb von Schichteinheiten durch Verwitterungsvorgänge gebildete Störzonen bevorzugte Ausbreitungsgebiete des Grundwassers darstellen.

Die detaillierten geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet sind aus den Dokumenten [1], [3], [4], [6], [18], [20], [28] und [30] ersichtlich. Zusammenfassende Darstellungen finden sich in den Dokumenten [35] und [36]. Die der FE-Modellierung zugrunde zu legenden Basisvorgaben bezüglich der hydrogeologischen Geometrie und der physikalischen Kennwerte werden in Kap. 3.1 zusammengefasst.

## 1.6

### DAS GRUBENGEBÄUDE

Das geplante Endlager Konrad wird am beschriebenen Standort zwischen 800 und 1300 m unter Gelände errichtet. Es befindet sich in den ca. 100 bis 150 m mächtigen Schichten des Oxford. Darin ist der Korallenoolith mit dem ehemals abgebauten oolithischen Brauneisenlager enthalten. Diese Schichten werden von Ton- und Tonmergelgesteinsschichten überlagert, die mehrere hundert Meter mächtig sind.

Das gesamte bestehende Grubengebäude liegt im Oxford, mit Ausnahme der Zugangsschächte Konrad 1 und 2 und gewisser Strecken, die in Kap. 3.1.4 beschrieben werden.

Das Grubengebäude umfasst folgende für den Endlagerbetrieb nutzbare Hohlräume:

- Tagesschächte mit Füllorten
- Hauptsohlen, Wendeln und Rampen
- Grubennebenräume
- Einlagerungsfelder

Daneben existieren Hohlräume aus dem früheren Förderbetrieb des Erzbergwerkes, die mit zwei verschiedenen Abbauverfahren aufgefahren wurden: Schwebender Kammer-Weitungsbaue und Kammer-Pfeilerbau. Da die Kammer-Weitungsbaue nach der Auffahrung mit Spülversatz versetzt wurden, werden die entsprechenden Abbaufelder auch als Spülversatzfelder bezeichnet. Die Kammer-Pfeilerbaue, die auch als LHD-Felder bezeichnet werden, wurden nach der Auffahrung nicht versetzt. Eine Übersicht über das Grubengebäude ist in Abb. 1-1 enthalten.

Die lokalen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse und die Geometrie des Grubengebäudes sind in den Dokumenten [5] bis [8], [13], [22], [23], [30] und [32] beschrieben und dargestellt.

## 2 MODELLIERUNG SWIFT

### 2.1 RECHENPROGRAMM SWIFT

Für die 1985/86 erfolgte (und 1988 mit zusätzlichen Berechnungen ergänzte) numerische Modellierung der stationären Grundwasserströmung wurde das Programmsystem SWIFT (Simulator for Waste Injection, Flow and Transport) verwendet [7]. Mit SWIFT können Strömungsvorgänge, Wärmetransport, Transport von Radionukliden und anderen Wasserinhaltsstoffen berechnet werden. Die Differentialgleichungen für die genannten Vorgänge sind hauptsächlich über die Strömungsgeschwindigkeit gekoppelt. Das Programm löst das Differentialgleichungssystem mit der Methode der **finiten Differenzen**.

Da im folgenden mit der FE-Modellierung lediglich die Grundwasserströmung untersucht wird, werden nur die für diesen Teilabschnitt der SWIFT-Modellierung wichtigen Angaben angeführt.

#### Annahmen:

- Zeitlich unveränderlicher Fluss in gesättigten Formationen
- Gültigkeit des Darcyschen Gesetzes auch bei kleinen Wassergeschwindigkeiten
- Behandlung von Kluftwasserleitern als äquivalentes poröses Medium
- Nichtberücksichtigung der Dichteunterschiede infolge von Temperaturgradienten oder Wasserinhaltsstoffen

#### Vereinfachungen:

- Diskretisierung
  - . Die Wiedergabe einer mehrere hundert Meter mächtigen Tonbarriere erfolgte teilweise in einem Block, damit verbunden war die Änderung der Mächtigkeit und der Tiefenlage einzelner Schichten.
  - . Bei der Übertragung von Wasserleitern wurde häufig eine stufenförmige Aufweitung von einem Block in mehrere übereinander liegende Blöcke vorgenommen, um die Verbindung der Blöcke mit wasserleitenden Eigenschaften in allen Raumrichtungen zu gewährleisten.
- Die Transmissivitätswerte wurden entsprechend der geometrischen Vereinfachungen angeglichen.

Eingabedaten:

- Modellaufbau in Blöcken, Zuweisung der Blöcke zu bestimmten Gesteinstypen
- Gesteinsspezifische Daten: Hydraulische Leitfähigkeit, effektive Porosität
- Randbedingungen: Als Randbedingungen sind Angaben für den Druck überall dort eingegeben worden, wo ein Wasseraustausch über einen offenen Modellrand möglich sein soll.

2.2 BESCHREIBUNG DES GRUNDWASSERMODELLS DER SWIFT-MODELLIERUNG

2.2.1 Ziele

Folgende Ziele wurden angestrebt:

- Überblick über die Grundwasserströmungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet Konrad
- Erkennung der Sensitivität der Durchlässigkeit einzelner Gesteinsschichten auf die Grundwasserströmungsverhältnisse
- Festlegung der relevanten Ausbreitungsgebiete zwischen dem Bereich des Endlagers und der Biosphäre durch die Berechnung von Stromlinien und Wasserlaufzeiten

2.2.2 Randbedingungen

Die vertikalen Ränder und die Modellbasis wurden weitgehend als undurchlässig angenommen. Diese Randbedingung ergibt sich aus den Nord-Süd-streichenden Salzstrukturen, der Wasserscheide des Salzgitter Höhenzuges im Süden und der Allerniederung im Norden. Als geschlossene Modellbasis wurden die undurchlässigen Salzgesteine im Mittleren Muschelkalk angenommen.

Eine Ausnahme bildet der obere Teil der seitlichen Begrenzung zwischen dem Salzgitter Höhenzug und dem Salzstock Broistedt. Hier wurde ein Grundwasseraustausch über das Quartär und die Plänerkalke mit dem Abstromgebiet der Fuhse ermöglicht.

Da die Einlagerungsformation in der Gegend von Calberlah Kontakt zum oberflächennahen Grundwasser hat, war es konservativ, die nördliche Grenze als geschlossen anzusetzen. Das das Grubengebäude durchfließende Grundwasser konnte daher nur innerhalb des Modellgebietes die Biosphäre erreichen.



An allen offenen Grenzen des Grundwassermodells mussten Randbedingungen festgelegt werden, vor allem an der Oberfläche. Ausgehend vom Grundwasserhöhengleichenplan (Dok. [1], [4]) wurde für jeden Block an der Modelloberkante die mittlere Grundwasserstandshöhe bestimmt, aus der die Druckrandbedingungen berechnet wurden.

Für den oberen Teil des westlichen vertikalen Randes zwischen dem Salzstock Broistedt und dem Salzgitter Höhenzug wurden ebenfalls Druckrandbedingungen eingegeben. Es wurde davon ausgegangen, dass ein Wasserabfluss im Quartär und in den Plänerkalken erfolgen kann, und dass die Druckverhältnisse durch die Grundwasserstandshöhe bestimmt sind.

Die Wasserdrücke an den Modellrändern wurden stationär gehalten. An den Orten, wo der Grundwasserhöhengleichenplan die Auswirkungen von Grundwasserentnahmen abbildet, wurden diese als gleichbleibend angenommen.

### 2.2.3 Diskretisierung des Modellgebietes

Für den SWIFT-Code war eine Unterteilung des Modellgebietes in ein orthogonales Raster erforderlich. Zur Berechnung der Grundwasserbewegung wurde das Modellgebiet in einzelne Blöcke unterteilt, die hinsichtlich ihrer hydraulischen Eigenschaften als homogen betrachtet wurden.

Für das Modellgebiet Konrad ist folgende Diskretisierung gewählt worden:

- Horizontale Unterteilung
  - . In West-Ost-Richtung (im Südabschnitt) bzw. Südwest-Nordost-Richtung (Nordabschnitt): 15 Blöcke (x-Achse)
  - . In Nord-Süd-Richtung: 30 Blöcke (y-Achse)
- Vertikale Unterteilung 23 Blöcke (z-Achse)

Die Gesamtzahl der Blöcke beträgt 10 350, die Dimensionen des Modells 13,5 km in x-Richtung, 48,7 km in y-Richtung und 2,4 km in z-Richtung. Die Richtungsänderung des Modells in y-Richtung beginnt nach 26,5 km beim Block y=16. Das Oberflächennetz ist in Abb. 2-1 dargestellt.

1988 wurden überdies Modellrechnungen mit einem in der Horizontalrichtung verfeinerten Elementnetz, in dem die Blockzahl von 10 350 auf 41 400 heraufgesetzt ist, durchgeführt.

#### 2.2.4 Übertragung der geologischen Verhältnisse in das SWIFT-Modell

Bei der Übertragung der geologischen Verhältnisse in das Modellraster musste darauf geachtet werden, dass das System von Wasserleitern und -stauern erhalten blieb. Dabei mussten Blöcke mit wasserleitenden Eigenschaften flächig aneinandergrenzen. Blöcke mit wasserstauenden Eigenschaften unterbinden die Strömung auch dann, wenn sie sich nur an den Kanten berühren.

Als Wasserstauer wurden modelliert:

- Emschermergel (E)
- Münder Mergel, Kimmeridge (jo)
- Alb, Hauterive, Barrême, Apt (kru)
- Doggertonsteine
- Liastonsteine
- Keupertonsteine,

als Wasserleiter:

- Quartär (q)
- Tertiär (t)
- Plänerkalke (kro)
- Hilssandstein (Hl)
- Oxford (ox)
- Cornbrash-Sandstein (C)
- Rhät (ko)
- Oberer Muschelkalk (mo)

Diese Vorgehensweise führte zu einer Überrepräsentation der Wasserleiter, die daher, gemessen an ihrem realen Volumen, im Modell zu viele Blöcke belegen. Da nur lokal eine söhlige Lagerung vorliegt, wurden insbesondere die geringmächtigen Wasserleiter durch treppenförmig angeordnete Blockfolgen wiedergegeben. Dadurch wurde die Länge der Fließwege in geringfügigem Ausmasse vergrößert.

Wo bei der Übertragung geologischer Verhältnisse in das Modellraster Lage und Mächtigkeit nicht in der wahren Form wiedergegeben werden, mussten für die betroffenen Blöcke repräsentative Durchlässigkeiten und Porositäten berechnet werden, so dass Transmissivität und Strömungswiderstand einer Schicht erhalten bleiben.

In den 1988 erfolgten zusätzlichen Modellrechnungen wurden neben der Berücksichtigung der in Tabelle 3-4 aufgeführten Störzonen im Modellaufbau die folgenden Änderungen an der geologischen Struktur im Modellgebiet vorgenommen ("Störzonenmodell" [34]):

- Das Alb wurde als eigene geologische Einheit behandelt
- Das Kimmeridge wurde modelltechnisch als Wasserleiter behandelt
- Das Rhät wurde im Salzstock Thiede an die Oberfläche angebunden

- Die Modellierung des Hilssandsteins wurde so modifiziert, dass Konrad-Graben und Vergitterungszone an den Hilssandstein angebunden sind.

### 2.3 HYDRAULISCHE EINGANGSDATEN

Zur Überprüfung des Grundwassermodells und zur Erkennung sensitiver Durchlässigkeiten wurden die Parameter verschiedener Schichteinheiten variiert. Die modellierten Schichteinheiten und deren Durchlässigkeit und Porosität sind für alle 1985/86 mit dem Schichtenmodell berechneten Varianten in Tabelle 2-1 zusammengestellt.

Die bei den Modellrechnungen von 1988 (Störzonenmodell) verwendeten Parameter sind in den im folgenden beschriebenen FE-Modellrechnungen ebenfalls verwendet worden. Die für die SWIFT-Modellierung 1988 verwendeten Parametersätze entsprechen daher den Werten der FEM-Rechenfälle und sind in Tabelle 4-1 gegeben.

### 2.4 ERGEBNISSE DER SWIFT-MODELLIERUNG

Die Ergebnisse der SWIFT-Modellrechnungen von 1985/86 sind in Dok. [7], jene von 1988 in Dok. [34] enthalten.

Bei der Besprechung der Ergebnisse der FE-Modellrechnungen wird vereinzelt auf die SWIFT-Ergebnisse eingegangen werden.

### 3 FE-MODELLIERUNG

#### 3.1 BASISVORGABEN DER PTB FÜR DAS ALTERNATIVE GEOLOGISCHE/ HYDROGEOLOGISCHE MODELL

Für das alternative geologische/hydrogeologische Modell hat die PTB die für die FE-Modellierung geltenden Basisvorgaben formuliert. Diese betreffen

- die hydrogeologische Geometrie (Schichteinheiten und Störzonen)
- die Modellgrenzen
- die Durchlässigkeitsbeiwerte und Porositäten der hydrogeologischen Einheiten
- die Geometrie des Grubengebäudes
- den Grundwasserspiegel
- die Grundwasserneubildungsrate
- die Randbedingungen

##### 3.1.1 Geometrie der hydrogeologischen Schichteinheiten und der Störzonen

Die dem Aufbau des alternativen geologischen/hydrogeologischen Modells zugrunde zu legende hydrogeologische Geometrie ist in den Unterlagen [1], [4], [11], [19], [21], [25], [26] und [28] enthalten. Wichtigste geometrische Grundlage sind die Tiefenlinienpläne für die hydrogeologischen Schichteinheiten [11], [19] und [21], die durch die 30 W-E-laufenden Querprofile und 15 N-S- bzw. (im Nordabschnitt) SW-NE-laufenden Längsprofile [28] illustriert werden. Die Tiefenlinienpläne und die Schnitte enthalten die Lage und Ausdehnung der zu modellierenden Störungen und Störzonen.

In Tab. 3-2 sind die verwendeten Schnitte und Tiefenlinienpläne aufgelistet, die Schnitte sind in Anhang A zusammengestellt. Tab. 3-3 enthält die Definition der Geometrie der verschiedenen Schichteinheiten.

##### 3.1.2 Modellgrenzen

Für das alternative geologische/hydrogeologische Modell sind dieselben Grenzen wie für die SWIFT-Modellierung vorgegeben worden, die in den Unterlagen [4] und [6] wie folgt beschrieben werden:

Aus dem regionalen geologischen Bau kann geschlossen werden, dass als möglicher Antrieb für Wasserbewegungen

in den tieferen Grundwasserleitern nur die hydraulische Druckdifferenz zwischen dem Salzgitter Höhenzug - wo die stärker durchlässigen Schichten des Oberen Muschelkalkes, des Rhät und des Hilssandsteins zu Tage treten - und den umgebenden Tieflagen in Frage kommt. Dem Verlauf dieser Schichten folgend bewirkt dieser hydraulische Gradient einen Abstrom der Tiefenwässer nach Norden. Das Vorflutniveau für die nach Norden abfließenden Wässer liegt in der Allerniederung östlich von Gifhorn, da dort die Juraschichten in Kontakt zum oberflächennahen Grundwasserstockwerk treten. Ausgehend von diesen Überlegungen sind die Modellgrenzen wie folgt festgelegt worden:

- Süden: Wasserscheide des Salzgitter Höhenzuges
- Westen: Süd-Nord-streichende Salzstruktur von Broistedt-Vechelde-Wendeburg-Rolfsbüttel
- Osten: Süd-Nord-streichende Salzstruktur von Thiede-Bechtsbüttel-Calberlah. Dort, wo die Salzstrukturen (im Westen und Osten) unterbrochen sind, stellen tektonische Verstärkungen oder Transgressionshorizonte natürliche Grenzen dar.
- Norden: Gegend von Gifhorn, wo die regionale Vorflut aller betrachteten Grundwasserleiter und insbesondere der Einlagerungshorizont Korallenoolith in Kontakt mit dem obersten Grundwasserstockwerk steht
- Modellboden: Mergel- und Salzgesteine des Mittleren Muschelkalkes

Die Koordinaten der Eckpunkte des Modellgebietes sind in [27], [29] und [30] zusammengestellt.

### 3.1.3 Durchlässigkeitsbeiwerte und Porositäten der hydrogeologischen Schichteinheiten

Für das alternative geologische/hydrogeologische Modell sind in Dok. [9], [10], [15], [31] und [32] für sämtliche hydrogeologischen Einheiten Durchlässigkeiten vorgegeben worden. Ausser den Tonsteinen des Keuper, des Lias und des Dogger werden alle hydrogeologischen Schichteinheiten als isotrop angenommen. Die Durchlässigkeit der isotropen Schichten wird durch einen, jene der anisotropen Schichten durch zwei  $k_f$ -Werte angegeben. Die zwei Werte der anisotropen Tonsteine bezeichnen die Durchlässigkeit parallel und senkrecht zur Schichtung (vgl. auch Kap. 3.2.6). Die Durchlässig-

keit in den Störzonen wird durch einen Faktor festgelegt, mit welchem der oder die  $k_f$ -Werte jeder hydrogeologischen Schichteinheit (mit Ausnahme von Alb, Hilssandstein und Rhät) innerhalb der Störzone zu multiplizieren sind. Die Ausdehnung der Störzonen ist in den Schnitten (s. Anhang A) eingezeichnet.

Die vorgegebenen Durchlässigkeitsbeiwerte der hydrogeologischen Schichteinheiten und die Multiplikationsfaktoren für die Störzonen für den Referenzfall sind zusammen mit den Bandbreiten in Tabelle 3-1 zusammengestellt.

#### 3.1.4 Geometrie des Grubengebäudes

Das Grubengebäude ist in den Dokumenten [6], [7], [17], [18], [20], [22] und [23] beschrieben und dargestellt. Die der Modellierung zugrunde zu legende Geometrie geht aus [23] hervor.

Das gesamte bestehende Grubengebäude liegt im Oxford, mit folgenden Ausnahmen:

- Zugangsschächte Konrad 1 und 2
- Tieferer Teil des Schachtes Konrad 2 und Verbindungsstrecken zwischen Schacht und dritter Sohle (ca. -900 m NN, siehe [8], [20] und [22]), wo der Schacht und die Strecken in das Liegende des Oxford eindringen
- Verbindungsstrecken zwischen dem Schacht Konrad 1 und der 4. (-1000 m NN) und insbesondere der 3. Sohle (-900 m NN, siehe [18] und [20]), die nach ungefähr 50 bzw. 400 m die Oberfläche des Korallenoolithes erreichen

Die vom Schacht Konrad 1 auf -1000 m NN nach Norden führende Strecke reicht ca. 800 m über den Nordrand des Grubengebäudes [22] hinaus.

Die lokalen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich des Grubengebäudes und der näheren Umgebung sind aus den Dok. [6], [7], [18] und [22] ersichtlich. Die Mächtigkeit der Ton- und Mergelsteine (Callovium) zwischen der Basis des Oxford und der Oberfläche des Cornbrash-Sandsteins im Gebiet der Grube Konrad beträgt ca. 94 m [13].

#### 3.1.5 Grundwasserspiegel

Die Grundwassergleichen des obersten Grundwasserstockwerks für den Nord- und Südabschnitt gehen aus [1], [4] und [6] hervor.

### 3.1.6 Grundwasserneubildungsrate

Nach Dok. [16] ist bei der Modellierung darauf zu achten, dass die von der BGR angegebenen Grundwasserneubildungsraten im Modellgebiet (insgesamt 787 l/s für den gesamten Südabschnitt, siehe Dok. [12] und [14]) von den Modell-Ergebnissen möglichst reproduziert werden.

### 3.1.7 Randbedingungen

Die vorgegebenen Randbedingungen entsprechen mit folgenden Ausnahmen den in Kap. 2.2.2 beschriebenen Randbedingungen der SWIFT-Modellierung:

- Der vertikale Rand im Tal der Fuhse wird auch für die höherliegenden Schichteinheiten Quartär, Emschermergel und Plänerkalke als undurchlässig angenommen. Der Einfluss dieses Unterschiedes wurde speziell untersucht, er ist unerheblich (Kap. 4.2.1.3).
- In zwei Rechenfällen wird der Süd- und Ostrand der tiefliegenden Wasserleiter Oberer Muschelkalk und Rhät als durchlässig angenommen und Werte für den Wasserzufluss ins Modell vorgegeben. Damit wird der mögliche Einfluss von Infiltrationszonen ausserhalb des Modellgebietes berücksichtigt.

## 3.2 MODELLKONZEPT

### 3.2.1 Vereinfachungen und Modifikationen

Um das Modell in einer möglichst handhabbaren Grösse zu halten, wurden die nachstehend aufgeführten Vereinfachungen durchgeführt. Sie wurden dort vorgenommen, wo eine genaue Modellierung eine grosse Anzahl von Elementen oder eine unverhältnismässige Komplizierung der Topologie mit sich gebracht hätte und eine Verfälschung der relevanten Modellaussagen ausgeschlossen werden kann.

Das Vorgehen zum Aufbau eines Elementnetzes ist in Kap. 3.3.1 kurz beschrieben.

### 3.2.1.1 Schichteinheiten

#### a) Vereinfachungen

Tertiär (t): Nur im Nordwesten modelliert, im Nordosten weggelassen

Oxford (ox) und Cornbrash (C): Beim Salzstock Calberlah (Schnitt x14N) wurde die kleinräumige Faltenstruktur verflacht.

#### b) Begründung

Im Nordosten ist das Tertiär äusserst geringmächtig, von geringer Ausdehnung und weist eine ähnliche Durchlässigkeit auf wie die darunter liegenden Wasserleiter. Die Verflachung der Faltenstruktur bei Calberlah verändert lediglich den Verlauf der Ausbissflächen geringfügig, wobei die wesentlichen hydraulischen Verbindungen beibehalten werden. Aus diesen Gründen sind die Auswirkungen dieser Vereinfachungen unbedeutend.

### 3.2.1.2 Salzstöcke

#### a) Vereinfachungen

Salzstock Broistedt-Wendeburg-Rolfsbüttel:

- Im nördlichen Teil (ab Schnitt y11) ist die Salzstockflanke vertikal modelliert worden, wobei als Salzstockgrenze jene des Tiefenlinienplanes Unterkreide angenommen wird.
- Im südlichen Teil (bis Schnitt y11) ist die N-S-verlaufende Salzstockflanke geneigt modelliert. Als seitliche Begrenzung des Salzstockes für das Oberflächen-Elementnetz wurde ungefähr die Salzstockgrenze des Tiefenlinienplanes der Hilssandstein-Basis (Abschnitt y9) bzw. der Unterkreide (Abschnitte y10 und y11) gewählt. Am Modellboden entspricht die seitliche Begrenzung des Salzstockes derjenigen des Tiefenlinienplanes der Basis des Oberen Muschelkalles.

Salzstock Thiede:

- Modellierung gemäss Dok. [21], [35] mit schrägen Flanken

Salzstock Flachstökheim:

- Salzstock vertikal
- Die Basis der Plänerkalke und sämtliche tieferen Schichtglieder werden an den Salzstock herangeführt.



Salzstock Bechtsbüttel:

- Flanke vertikal

Salzstock Calberlah:

- Flanke vertikal

Salzstock Gifhorn:

- Alle Schichten unterhalb der Basis Unterkreide werden bis an die Salzstockflanke geführt.
- Flanke vertikal

b) Begründung

Die genaue Wiedergabe der Morphologie der steilen Salzstockflanken, an die eine Vielzahl von Schichteinheiten stossen, wäre topologisch äusserst aufwendig und würde eine bedeutende Anzahl von Elementen erfordern. Da eine Senkrechtstellung der Salzstockflanken im allgemeinen nur eine geringe Veränderung der Länge der Fließwege mit sich bringt, sind die Salzstockflanken daher mit zwei Ausnahmen senkrecht modelliert. Die Flanke des Salzstockes Broistedt ist in der Nähe des Grubengebäudes (Abschnitt y9 bis y11), die Flanke des Salzstockes Thiede durchgehend geneigt modelliert.

### 3.2.1.3 Störungen und Störzonen

a) Bezeichnung der Störungen und Störzonen

Sämtliche in den Tiefenlinienplänen und den Schnitten enthaltenen **Störungen** (= tektonische Verwerfungen) sind mit einem Buchstaben bezeichnet (siehe Tab. 3-4, Abb. 3-2 und Anh. A). Mehrere Störungen wirken dabei als eigentliche **Störzonen** und weisen im Referenzfall eine erhöhte Durchlässigkeit auf.

b) Vereinfachungen

- Alle Störungen erreichen den Modellboden.
- Die Störungen  $o_1$  und  $o_2$  (siehe Schnitt x1N) sind weggelassen.
- Die Störungen  $p_1$ ,  $p_2$  und  $p_3$  sind zu einer einzigen Störung  $p$  zusammengefasst, deren Verlauf ungefähr jenem der Störung  $p_1$  entspricht.
- Die Störungen  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $k$ ,  $l$ ,  $m$  und  $r$  sind vertikal modelliert.
- Geneigt modelliert sind die Störungen  $a$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $d$ ,  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $h$ ,  $n$ ,  $p$  und  $q$  sowie die zugehörigen Störzonen  $a$ ,  $c$ ,  $e$  und  $h$ .
- Die die Salzstöcke Broistedt-Wendeburg-Rolfsbüttel, Thiede und Flachstockheim begleitenden Störzonen sind senkrecht (Flachstockheim, Broistedt ab y11) bzw. geneigt (Thiede, Broistedt bis y10) modelliert.

Die an Störungen gebundenen Störzonen weisen folgende Ober- bzw. Untergrenzen auf (Abb. 3-2):

- Störzone der Immendorfer Störung (a)  
Für das Oberflächen-Elementnetz wurden die Umrise der Störzone a auf den Tiefenlinienplan Unterkreide hinaufprojiziert. Eine genauere Modellierung der Obergrenze der Störzone, wie sie in den (überhöhten) Schnitten dargestellt ist, ist aus technischen Gründen nicht möglich. Als Obergrenze der Störzone wurde die Basis der Unterkreide angenommen. Störung und Störzone sind ab Basis Unterkreide geneigt modelliert. Der Riss der Störzone am Modellboden entspricht dem Tiefenlinienplan Basis Oberer Muschelkalk. Die sich topologisch entsprechenden Punkte der inneren (nördlichen) Verschneidungslinie zwischen der Hauptstörzone und der westlichen Begleitstörzone liegen am Modellboden rund 5 km NNW vom entsprechenden Punkt an der Unterkreide-Basis entfernt. Da dies zu einer ausserordentlich starken Verzerrung des 2D-Elementnetzes am Modellboden geführt hätte, wurde die entsprechende Distanz um etwa 1,5 km reduziert.
- Störzone Konrad-Graben (c)  
Die Obergrenze wurde der Basis des Alb gleichgesetzt. Der in der Unterkreide, zwischen der Basis des Alb und der Basis der Unterkreide liegende Bereich ist vertikal modelliert, jener unterhalb der Unterkreide-Basis geneigt. Der Umriss der Störzone c am Modellboden (Basis-Elementnetz) wurde gemäss Tiefenlinienplan der Basis des Oberen Muschelkalkes festgelegt.
- Die Vergitterungszonen #<sub>a</sub> (Vergitterung des Konrad-Grabens mit der Immendorfer Störzone) und #<sub>b</sub> (Vergitterung des Konrad-Grabens mit der Störzone des Salzstockes Broistedt) sind schräg modelliert. Die Vergitterungszone #<sub>a</sub> reicht von der Basis Unterkreide bis zum Modellboden, die Vergitterungszone #<sub>b</sub> von der Alb-Basis bis zum Modellboden.
- Störzone südlich des Konrad-Grabens (d)  
Die Umrise der Störzone d wurden auf die Unterkreide-Basis hinaufprojiziert. Der Riss am Modellboden (Basis-Elementnetz) wurde dem Tiefenlinienplan Basis Oberer Muschelkalk entnommen. Geometrisch ist sie ab Basis Unterkreide geneigt modelliert, jedoch kommen veränderte Durchlässigkeiten erst ab Basis Oxford zur Anwendung.
- Störzone der Überschiebung von Meine (e)  
Die Umrise der Störzonen wurden auf die Quartär-Basis hinaufprojiziert. Die Modellierung erfolgte geneigt, ab Basis Quartär. Der Riss am Modellboden entspricht dem Tiefenlinienplan Basis Keuper, jedoch wurde der Verlauf der Störung e<sub>2</sub> leicht begradigt.

- Störzone Salzgitter Höhenzug (h)  
Diese Störzone reicht von der Terrainoberfläche bis zum Modellboden und ist ab Terrainoberfläche geneigt modelliert. Die Umrisse am Modellboden entsprechen dem Tiefenlinienplan Oberer Muschelkalk.
- Störzonen i und k, im Norden an Störzone h anschliessend  
Die Störzone i reicht bis zur Basis Unterkreide, die Störzone k bis zur Basis Rhät. Beide Störzonen sind, mit Ausnahme des Anschlusses an die Störzone h, vertikal modelliert.
- Die Störzonen der Salzstockflanken Broistedt-Wendeburg-Rolfsbüttel, Thiede, Flachstöckheim ( $b_b$ ,  $b_t$ ,  $b_f$ ) reichen von der Basis des Quartärs bis an den Modellboden.

Die Störung n ist bis zur Basis Unterkreide vertikal, darunter geneigt modelliert. Der Riss am Modellboden entspricht dem Tiefenlinienplan Basis Keuper.

Die Störungen p und q sind bis zur Basis Unterkreide vertikal, darunter geneigt modelliert. Der Riss am Modellboden für das Basis-2D-Elementnetz wurde dem Tiefenlinienplan Basis Keuper entnommen.

### 3.2.2 Modellgrenzen und Randbedingungen

Für das alternative geologische Modell werden im Prinzip dieselben Modellgrenzen verwendet wie für das SWIFT-Modell. Wegen der grösseren Flexibilität der FE-Methode konnte die Modellausdehnung lokal etwas verringert werden (Abb. 3-1). Die Modellgrenzen werden nachstehend kurz erläutert:

- |         |  |
|---------|--|
| Süden:  | Wasserscheide des Salzgitter Höhenzuges bis zum südlichen SWIFT-Modellrand, anschliessend geradlinig bis zum südöstlichen Eckpunkt (wie SWIFT-Modellierung)  |
| Osten:  | Wie SWIFT-Modellierung   |
| Norden: | Wie SWIFT-Modellierung   |
| Westen: | Im Norden folgt der westliche Modellrand im Bereich der SWIFT-Zonen y30 und y29 der Achse des Salzstockes von Gifhorn, in den Zonen y28 bis y22 (zwischen dem Südrand des Salzstockes von Gifhorn bis zum Nordrand des Salzstockes von Rolfsbüttel) der Verwerfung n, danach bis zur Zone y7 |

der Achse des Salzstockes Rolfsbüttel-Wendeburg-Broistedt. In den Zonen y7 bis y5, bis zur Wasserscheide des Salzgitter Höhenzuges, ist er identisch mit dem Rand des SWIFT-Modells.

Modellboden: Wie SWIFT-Modellierung (Mittlerer Muschelkalk)

Oberfläche: Die Modelloberfläche entspricht in den Gebieten mit Quartärbedeckung dem Grundwasserspiegel, wie er aus den Plänen der Grundwassergleichen hervorgeht [1], [4], [6]. In den Abschnitten mit Felsaufschlüssen entspricht die Modelloberfläche der Terrainoberfläche.

Im Referenzfall werden alle vier Seitengrenzen und der Modellboden als undurchlässig angenommen (No-Flow Bedingungen).

Geschlossene Ränder werden - im Gegensatz zur SWIFT-Modellierung - auch für die höher liegenden Schichten im Tal der Fuhse angenommen. Der Einfluss dieses Unterschiedes zur SWIFT-Modellierung wurde untersucht, er ist unerheblich (vgl. Kap. 4.2.1.3).

Um den möglichen Einfluss von Infiltrationszonen der tiefliegenden Wasserleiter südlich und östlich des Modellgebietes zu untersuchen, wurde aus den Abständen und den Höhenlagen der Infiltrationsgebiete sowie den hydraulischen Potentialen auf dem Modellrand im Referenzfall (No-Flow Bedingungen) mögliche Werte für die Filtergeschwindigkeiten im Oberen Muschelkalk und im Rhät auf verschiedenen Abschnitten des Süd- und Ostrand des Modells berechnet. Sie bilden die Grundlage für die Vorgabe von Wasserflüssen als Randbedingung in den Rechenfällen R11 und R13 (Tab. 4-1). Diese Geschwindigkeiten wurden durch die BGR ermittelt.

### 3.2.3 Schichteinheiten

Sämtliche hydrogeologischen Schichteinheiten werden mit 3D-Elementen dargestellt, wobei jede geologische/hydrogeologische Schichteinheit eine Lage bildet. Eine Ausnahme ist das Oxford, welches im Bereich des Grubengebäudes drei Lagen umfasst. Topologische Gründe (z.B. in der Umgebung von Störungen) machen zudem lokal Zwischenlagen erforderlich.

### 3.2.4 Störzonen

Sämtliche Störzonen sind mit 3D-Elementen modelliert. Die Mehrzahl der Störungen wird durch schiefe Säulen approximiert (vgl. die Erläuterungen zum sogenannten Säulenkonzept in Kap. 3.3.1.1).

### 3.2.5 Grubengebäude

Vom Grubengebäude ist die Umhüllende als dreidimensionaler Körper modelliert, dessen Abmessungen dem Dok. [23] entnommen sind. Er ist unterteilt in zwei Abschnitte, die von N bzw. S her an den Bleckenstedter Sprung stossen (siehe Abb. 4-9).

Die vom Grubengebäude nach Norden führende Strecke [17] wird durch ein horizontales 1D-Element dargestellt.

Die vier kurzen, ins Liegende (Dogger) reichenden Strecken des Grubengebäudes ([20], [30]) wurden nicht explizit in das Elementnetz aufgenommen. Die bedeutendste dieser Strecken führt vom unteren Ende des Schachtes Konrad 2 zum Grubengebäude und besitzt einen Querschnitt von  $102 \text{ m}^2$ . Ihr hydraulischer Einfluss ist durch eine entsprechend erhöhte Transmissivität der nahe gelegenen vertikalen 1D-Elemente, welche den Schacht Konrad 2 repräsentieren, berücksichtigt. Diese Elemente reichen vom Grubengebäude bis zur Basis Dogger.

Für die hydraulische Durchlässigkeit des Grubengebäudes und der gesondert modellierten Strecken wird ein Wert von  $k_f = 10^{-4} \text{ m/s}$  angenommen. Die hydraulische Transmissivität der 1D-Elemente wurde mit einem Querschnitt von  $10 \text{ m}^2$  für die Nordstrecke und von  $100 \text{ m}^2$  für den Teil des Schachtes Konrad 2 zwischen Grubengebäude und Basis Dogger (Simulation der Doggerstrecke) berechnet (vgl. Tab. 4-1).

Der genaue Wert der hydraulischen Durchlässigkeit des Grubengebäudes ist ohne Einfluss, solange er gegenüber jenem des umliegenden Oxford hoch ist. Einzig die Transmissivität des Schachtes Konrad 2, welcher das Oxford mit dem Cornbrash verbindet, beeinflusst quantitativ den Wasserfluss.

Die Vernachlässigung der Tatsache, dass in Wirklichkeit weder der Schacht Konrad 2 noch die Doggerstrecken bis zum Cornbrash reichen, ist konservativ: je nach Situation wird der Zufluss von Wasser aus dem Cornbrash ins Grubengebäude, und damit der Durchfluss und die Höhe des hydraulischen Potentials im Grubengebäude überschätzt, oder, bei abwärts gerichtetem Wasserfluss, die Fliesszeit für gewisse Wasserwege durch den Wasserstauer Dogger unterschätzt.

### 3.2.6 Anisotropie

Die Tonsteine des Keuper, des Lias und des Dogger sind anisotrop und weisen parallel zur Schichtung eine deutlich grössere Durchlässigkeit als senkrecht dazu auf. Das angenommene Anisotropieverhältnis beträgt 100 : 1.

Eine derartige anisotrope Durchlässigkeit bedeutet, dass anstelle eines skalaren  $k_f$ -Wertes ein Tensor tritt, von dem die erste und zweite Hauptachse schichtparallel und die im Anisotropieverhältnis verkürzte dritte Hauptachse normal zur Schichtung orientiert sind. Zur Berechnung des auf die kartesischen Modellkoordinaten (x nach E, y nach N, z nach oben) transformierten Tensors wird wie folgt verfahren:

Für jedes Element, welches die genannten Tonsteine darstellt, wird die mittlere räumliche Orientierung (d. h. das Streichen und Fallen) berechnet und als Orientierung der Schichtung interpretiert. Die Orientierungen aller Elemente werden in 48 Richtungsklassen (12 30°-Sektoren für das Azimut, 4 Intervalle für den Fallwinkel) eingeteilt. Der für jede Klasse aufgrund der mittleren Orientierung berechnete Tensor des Durchlässigkeitsbeiwertes wird jedem Element der entsprechenden Richtungsklasse zugewiesen.

## 3.3 MODELLBESCHREIBUNG

In diesem Kapitel wird die Realisierung des in Kapitel 3.2 vorgestellten Modellkonzeptes beschrieben. Einleitend wird zuerst in Kap. 3.3.1 ein kurzer Überblick über die durchgeführten Arbeitsschritte und das Datenfile-System gegeben, während auf das eigentliche Modell in Kap. 3.3.2 näher eingegangen wird.

### 3.3.1 Vorgehen

Bei der Durchführung einer hydrodynamischen Modellierung lassen sich die folgenden drei Phasen unterscheiden:

1. Die **Preprocessing-Phase**, in welcher das Netz der finiten Elemente ("Mesh") aufgebaut wird,
2. die **Rechenphase**, in der das hydraulische Potential in allen Knoten des Elementnetzes berechnet wird, und

3. die **Postprocessing-Phase**, in welcher die Resultate weiter ausgewertet und graphisch dargestellt werden.

Die diesen Phasen entsprechenden Arbeitsschritte und die dazugehörigen Datenfiles sind im Flussdiagramm von Abb. 3-4 zusammengefasst und werden im folgenden kurz beschrieben.

#### 3.3.1.1 Preprocessing-Phase

In dieser Phase müssen folgende Arbeitsschritte abgewickelt werden:

- Digitalisierung (z.B. von Tiefenlinienplänen)
- Entwurf und Definition von zweidimensionalen Elementnetzen (Oberflächen- und Boden-Netz)
- Erzeugung von dreidimensionalen Elementnetz-Topologien (basierend auf den 2D-Netzen durch Verwendung des Elementsäulen-Konzeptes)
- Generierung von Knotenkoordinaten mit Hilfe der digitalisierten Tiefenlinienpläne
- Kontrolle des erzeugten Elementnetzes

Das Elementsäulen-Konzept erlaubt einen relativ einfachen Aufbau eines dreidimensionalen Elementnetzes. Ausgehend von den beiden zweidimensionalen, topologisch identischen Elementnetzen für die Modelloberfläche und den Modellboden, wird aus jedem Element des Oberflächennetzes und dem zugehörigen Element des Boden-netzes durch Verbinden der entsprechenden Eckknoten eine Elementsäule gebildet. Diese wird anschliessend unter Berücksichtigung der benachbarten, bereits erstellten Säulen und der hydrogeologisch-geometrischen Anforderungen in einzelne Elemente unterteilt.

Das erzeugte Elementnetz wird durch zwei Datenfiles beschrieben [2]:

Im **Elementfile** (gekennzeichnet durch den Filenamen mit Suffix "ELM") werden für jedes Element der Element-Typ (Quader, Prisma, etc.), die beteiligten Knoten und die Materialeigenschaften (Durchlässigkeits-Klasse) festgelegt.

Der **Koordinatenfile** (mit Suffix "XYZ") enthält die räumlichen Koordinaten aller Knoten des Modells.

### 3.3.1.2 Rechenphase

-----

Die Lösung der partiellen Differentialgleichung für die Grundwasserströmung erfolgt mit dem Finiten Element Programm FEM301 [2]. Dieses Programm berechnet den stationären Wasserfluss in gesättigten Medien unter Annahme einer räumlich konstanten Wasserdichte. Es verarbeitet dreidimensionale Elementnetze, welche aus verschieden-dimensionalen und topologisch sehr unterschiedlichen Elementtypen (z.B. Quader, Prisma, Tetraeder, 4-Eck-Fläche, Strecke) aufgebaut sind. Die lokalen Formfunktionen sind quadratisch.

FEM301 benötigt neben der durch die Element- und Koordinatenfiles gegebenen Elementnetzgeometrie auch Vorgaben zu den Durchlässigkeitsbeiwerten in den definierten Durchlässigkeitsklassen sowie Randbedingungen für das hydraulische Potential und/oder vorgeschriebene Wasserflüsse. Diese Daten werden über den **Parameterfile \*.PAR** eingespeist.

Ein Rechenfall ist also durch ein Ensemble von je einem Element-, Koordinaten- und Parameterfile festgelegt. Eine Zusammenstellung der mit dem Modell Konrad durchgeführten Rechenvarianten und die Diskussion der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 4.

Als Output liefert FEM301 einen **Resultatfile (\*.RES)**, welcher die berechneten hydraulischen Potentiale in allen Knoten enthält. In den Knoten mit vorgeschriebenem Potential ist zudem der resultierende Fluss gegeben, welcher für die Umgebung (d.h. für das "volume of influence") des Knotens repräsentativ ist.

### 3.3.1.3 Postprocessing-Phase

-----

In der Postprocessing-Phase werden folgende Resultate graphisch dargestellt:

- hydraulisches Potential (Isolinien-Darstellungen auf beliebigen 2D-Flächen)
- Wasserflüsse, Darcy-Geschwindigkeiten (Vektor- oder Isoliniendarstellungen)
- Fliesswege (räumlicher Verlauf, Weg-Zeit-Diagramme)

Die Berechnung der Wasserflüsse erfolgt mit dem Programm FLUX, die Fliesswege und Fliesszeiten werden mit dem Programm TRACK ermittelt (vgl. Abb. 3-4).



Die eingesetzten Programme FEM301 und TRACK wurden im internationalen Projekt HYDROCOIN mehrmals eingesetzt. Ziel dieses von 1984 bis 1987 laufenden Projektes war, durch Vergleichsrechnungen einer grossen Zahl von erfahrenen Projektteams mit verschiedenen Computerprogrammen den Stand von Wissenschaft und Technik der Grundwassermodellierung festzustellen, die Rechenprogramme zu verifizieren und die Methoden der Modellkalibrierung und -validierung zu verfeinern (Dok. [38], [39]).

### 3.3.2 Das FE-Modell Konrad

#### 3.3.2.1 Modellmerkmale

Die an ein Elementnetz zu stellenden wichtigsten Forderungen sind:

- Wiedergabetreue bezüglich der modellierten Geometrie
- überschaubare Topologie (z.B. durch Verwendung des Elementsäulen-Konzeptes)
- hinreichende Auflösung in der Diskretisierung bei gleichzeitig verkraftbarer Modellgrösse

Die im letzten Punkt aufgeführten, gegenläufigen Forderungen bedingen das Eingehen eines Kompromisses. Die Kenngrössen des FE-Modells Konrad sind:

Anzahl Elemente	:	6 056
Anzahl Knoten	:	21 040
Frontale Breite des Gleichungssystems	:	859
Benötigter Speicherplatz des Gleichungssystems	:	142 Mbyte
Rechenzeit (CPU: Prime 9955)	:	24 000 s

#### 3.3.2.2 Modellschnitte

Den geometrischen Aufbau des Modells zeigen die im Anhang B zusammengestellten Vertikalschnitte. Ihr Verlauf ist in Abb. 3-3 eingezeichnet.

Abb. 3-1 zeigt eine Aufsicht auf das Modellgebiet, zusammen mit der Lage der geologischen Schnitte der BGR und einigen geographischen Anhaltspunkten.

Der Vergleich der Abbildungen 3-1 und 3-3 liefert für jeden betrachteten Schnitt die Bezeichnung der entsprechenden geologischen Profile aus Dok. [28] und [35], welche in Anhang A zusammengestellt sind (x1S bis x15S, x1N bis x15N, y1 bis y30).

Die Vertikalschnitte durch das FE-Modell sind in Anhang B unverzerrt (oben) und vertikal überhöht (unten) dargestellt. Zwecks besserer Lesbarkeit sind die Elemente gemäss der angeschnittenen hydrogeologischen Schichteinheit (entsprechend den Durchlässigkeits-Klassen) eingefärbt, wobei die Grenzen zwischen Elementen gleicher K-Klasse weggelassen wurden, so dass die verbleibenden vertikal bzw. subvertikal verlaufenden schwarzen Linien die Grenzen von Störzonen um die Verwerfungen kennzeichnen. Die Vertikalschnitte folgen den Elementgrenzen und sind deshalb nicht eben. Dargestellt wird die Projektion des Schnittes auf eine vertikale Ebene. Bei stark gekrümmten Schnitten, z.B. im Schnitt 8-9 an der Basis unterhalb der Grube Konrad, können deshalb Überlappungen auftreten.

Die Orientierung der Ansichten ist so gewählt, dass die Schnitte in horizontaler Richtung maximal ausgedehnt erscheinen. Die Blickrichtung der Projektion ist den im oberen Titel angegebenen Zahlenpaar zu entnehmen. Die erste Zahl bezeichnet das Azimut, aus dem der Blick erfolgt, gemessen im Uhrzeigersinn mit Nullpunkt Nord (0 = Nord, 90 = Ost, 180 = Süd, 270 bzw. -90 = West). Die zweite Zahl steht für die Elevation über dem Horizont (0 = horizontal, 90 = vertikal von oben).

Da die verschiedenen Schnitte zur Erzielung einer bestmöglichen Auflösung immer in voller Ausnutzung des Bildschirmes dargestellt wurden, besitzen die Abbildungen unterschiedliche Massstäbe. Als Vergleichsbasis für die Grössenverhältnisse der Abbildungen dient deshalb der Grundriss von Abb. 3-3.

Im folgenden werden einige Merkmale der gezeigten Schnitte im Vergleich mit den geologischen Profilen der Basisvorgaben diskutiert.

#### Schnitt 1 (Anh. B1)

Der Schnitt läuft entlang dem Fuss des Salzgitter Höhenzuges. Von oben nach unten sind folgende hydrogeologischen Schichten dargestellt: q-E-kro-Alb-Hl-kru-D-ko-K-mo. Links ist die Störung  $i_1$  sichtbar, begleitet von der bis an die Basis des Rhät reichenden Störzone i (Anh. A, Schnitt x5S), rechts die den Oberen Muschelkalk verstellende Störung k mit der zugehörigen Störzone, die bis an die Basis des Rhät reicht (Anh. A, Schnitt y4, x5S). Im Zentrum fehlt das Rhät stratigraphisch (Anh. A, Schnitt x2S). Da Lias und Keuper die-

selbe Durchlässigkeit aufweisen, weist das Tonsteinpaket zwischen Unterkreide-Basis und dem Oberen Muschelkalk die K-Klasse des Lias auf.

#### Schnitt 2 (Anh. B2)

Der Schnitt 2 entspricht ungefähr den Schnitten y4 (im W) und y5 (im E) (s. Anhang A). Die Schichtfolge entspricht jener in Schnitt 1. Von links nach rechts kommen folgende Störungen und Störzonen vor: Störung und Störzone h, Störzone k, nach E einfallender Westast und nach W einfallender Hauptast der Störzone a. Die Störzone a reicht bis an die Basis der Unterkreide.

#### Schnitt 4 (Anh. B4)

Schnitt 4 ist ein W-E-Schnitt ungefähr auf der Höhe des Schnittes y9 (Anh. A) entlang dem Südrand der Störzone Konrad-Graben. Die Schichtfolge von oben nach unten ist: E, kro, Alb, stellenweise Hl, kru. Unterhalb der Transgressionsfläche der Unterkreide folgen Störzone g (rosa), ox mit Grubengebäude (gelb), - D, C, L, ko, K, mo. Von links nach rechts sind zu erkennen: Salzstock Broistedt, Vergitterungszone mit Konrad-Graben entlang dem Salzstockrand, Störzone Konrad-Graben (c, bis Basis Hilssandstein) und südlich anschließende Störzone d (bis Basis Oxford), Störzone a (Immendorfer Störzone), Störzone b<sub>t</sub> beidseits des Salzstockes Thiede.

#### Schnitt 6 (Anh. B6)

Der Schnitt 6 verläuft auf der Höhe von Schnitt y12 (Anh. A). Links ist der Salzstock Vechelde mit der Störzone b<sub>p</sub> (bis Basis Alb) dargestellt.

#### Schnitt 7 (Anh. B7)

Schnitt 7 ist ein West-Ost-Schnitt, welcher ungefähr dem Schnitt y19 (Anh. A) entspricht, und den Salzstock Rolfsbüttel mit der begleitenden Störzone (bis Basis q) sowie die Störzone Meine (e) mit den Störungen e<sub>1</sub> und e<sub>2</sub> zeigt.

#### Schnitt 8 (Anh. B8)

Schnitt 8 verläuft von Süd nach Nord zwischen dem südlichen Modellrand (westlich des Salzstockes Flachstökheim) bis zum Nordrand der Störzone des Konrad-Grabens, den Verlauf der Schnitte x9S bis x7S (Anh. A) schräg schneidend. Von links nach rechts sind zu erkennen: die Störzone entlang dem Salzstock Flachstökheim, der Westast der Immendorfer Störzone sowie die Störzone Konrad-Graben mit den Störungen c<sub>1</sub> und c<sub>2</sub>. Der südöstliche Teil des Grubengebäudes liegt ausserhalb der Störzonen c und d.

Schnitt 9 (Anh. B9)

Der Süd-Nord-Schnitt 9 schliesst nördlich an den Schnitt 8 an und verläuft durch den Mittelabschnitt des Modellgebietes nördlich der Störzone des Konrad-Grabens (Anh. A, Schnitte x7S und x7N). Der Hilssandstein ist bereits ausgekeilt, hingegen ist der Cornbrash-Sandstein durchgehend vorhanden.

Schnitt 10 (Anh. B10)

Schnitt 10 ist ein SW-NE-Schnitt, welcher als Fortsetzung von Schnitt 9 bis zum nördlichen Modellrand reicht. Zu erkennen sind die Störung  $e_1$  und die Störzone  $e$  sowie der Graben der Störungen  $p$  und  $q$  (Anh. A, Schnitt x9N). Der unregelmässige Schichtverlauf in der Nähe des Nordrandes wird verursacht durch Richtungsänderungen der Profilsur.

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 ÜBERSICHT ÜBER DIE RECHENFÄLLE

Der Modellaufbau erlaubt, die Durchlässigkeit von 21 hydrogeologischen Schichteinheiten (darin inbegriffen die Störzone g), die Multiplikationsfaktoren der Durchlässigkeiten geologischer Schichteinheiten im Bereich von 9 Störzonen, die seitlichen Randbedingungen und den Grundwasserspiegel zu variieren und die Variationen auch kombiniert zu berücksichtigen.

Um diese grosse Vielfalt von möglichen Fällen zu reduzieren, wurde von der PTB ein Vorgehen gewählt, welches auf einem vorgängig festgelegten Referenzfall (R01) basiert. Dieser wird mit 7 Fällen variiert (R04 bis R07, R11 bis R13). Um die Vergleichbarkeit der Fälle zu gewährleisten, wurde darauf geachtet, dass sich pro Fall nur eine Sachlage ändert. Variiert wurde die Durchlässigkeit einer hydrogeologischen Schichteinheit, die Multiplikationsfaktoren der Störzonen sowie die Randbedingungen am Süd- und Ostrand des Modellgebietes. Überdies wurden neben dem Referenzfall und seinen Variationen ("Störzonenmodell", 8 Rechenfälle) auch Varianten geprüft, in denen die Störungen zwar vorhanden, die Störzonen mit ihren veränderten Durchlässigkeiten aber inaktiv sind ("Schichtenmodell", Rechenfälle R02 und R03). Im Schichtenmodell wurde der Multiplikationsfaktor für die in den Störzonen gelegenen Schichteinheiten also auf 1 gesetzt.

Insgesamt sind mit dem FE-Modell für den vorliegenden Bericht 10 Fälle modelliert worden. Die Parameter des Referenzfalles und deren Variationen in den übrigen Rechenfällen sind in Tabelle 4-1 zusammengestellt und werden im folgenden kommentiert.

#### 4.1.1 Störzonenmodell

Der Referenzfall R01 (Störzonenmodell) wurde von der PTB als "plausibler Fall" konzipiert und stellt den mittleren Fall gemäss den Vorgaben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) dar. Er basiert auf der vorgegebenen Geometrie der hydrogeologischen Schichteinheiten, der Störungen und der Störzonen sowie auf mittleren Durchlässigkeitsbeiwerten (Tabelle 3-1). Der Grundwasserspiegel im Salzgitter Höhenzug liegt an der Terrainoberfläche. Durch die seitlichen Ränder fliesst kein Wasser dem Modell zu oder aus dem Modell ab. Mit der solcherart vorgegebenen Randbedingung brauchen entlang den seitlichen Rändern auch keine Potentiale vorgegeben werden.

Da in der SWIFT-Modellierung entlang dem westlichen vertikalen Rande zwischen dem Salzstock Broistedt und dem Salzgitter Höhenzug, d.h. im Talgrund der Fuhse, Druckrandbedingungen eingegeben worden sind (siehe Kapitel 2.2.2), ist für den Referenzfall R01 die Auswirkung dieser Differenz zwischen den beiden Modellierungen mit Zusatzrechnungen abgeschätzt worden. Sie ist unerheblich (s. Kap. 4.2.1.3).

Im Referenzfall wurden die aus dem Grubengebäude 800 m nach Norden führende Erkundungsstrecke ("Nordstrecke") sowie die vom Schacht Konrad 2 durch Doggertonsteine ins Grubengebäude führende Zugangsstrecke ("Doggerstrecke") mitberücksichtigt. Im **Rechenfall R07** wurden die beiden erwähnten Strecken, die als 1D-Elemente modelliert worden sind, ausgeschaltet, um im Vergleich mit dem Fall R01 deren Einfluss abzuschätzen.

Die Fälle R04 bis R06, R11 bis R13 stellen weitere Variationen des Referenzfalles dar. Dabei entsprechen die Rechenfälle R04 bis R06 den Varianten 1 bis 3 der SWIFT-Rechnungen von 1988 [34]. Mit ihnen wurde der Einfluss der Multiplikationsfaktoren im Gebiet der Störzone Konrad-Graben (d.h. also in der engeren Umgebung des Grubengebäudes) und der seitlichen Vergitterungszonen des Konrad-Grabens mit der Störzone entlang der Salzstockflanke Broistedt im Westen einerseits, mit der Störzone der Immendorfer Störung im Osten andererseits, untersucht. Die Unterschiede der Parameter zum Referenzfall sind in Tabelle 4-2 zusammengestellt.

Im **Rechenfall R04** wird, bezogen auf den Referenzfall, im Bereich der Vergitterungszonen die Durchlässigkeit der Schichten unterhalb der Alb-Basis mit Ausnahme des Rhät um etwa das 8-fache erhöht. Im **Rechenfall R05** erfahren die Durchlässigkeiten der erwähnten Schichteinheiten zusätzlich im restlichen Konrad-Graben eine Verdoppelung. Im Gegensatz dazu wird im **Rechenfall R06** im gesamten Bereich des Konrad-Grabens (also inkl. den Vergitterungszonen) die Durchlässigkeit der Schichteinheiten unterhalb der Alb-Basis mit Ausnahme des Rhät auf 50 % des Durchlässigkeitsbeiwertes der ungestörten Schichteinheiten gesetzt, d.h. bezüglich dem Referenzfall erfahren die betroffenen hydrogeologischen Schichteinheiten eine Herabsetzung auf 5 % im Bereich des Konrad-Grabens, auf 0,8 % im Bereich der Vergitterungszonen.

Bei den Rechenfällen R11 und R13 wurden entlang dem südlichen und östlichen Modellrand gemäss den Angaben der BGR Flüsse in den Wasserleitern des Oberen Muschelkalkes und des Rhät vorgegeben, um den Einfluss von eventuellen ausserhalb des Modellrandes gelegenen Infiltrationszonen im Süden bzw. Osten des Modellgebietes abzuschätzen (vgl. Kap. 3.2.2 und Tab. 4-1). Im **Rechenfall R11** wurden Zuflüsse im Oberen Muschel-

kalk und im Rhät in folgenden Abschnitten des Modellrandes angenommen:

- Salzgitter Höhenzug bis Salzstock Flachstökheim
- Salzstock Flachstökheim bis SE-Ecke des Modellgebietes
- SE-Ecke des Modellgebietes bis Thiede
- Zwischen Salzstock Bleckenstedt und Salzstock Calberlah.

Im **Rechenfall R13** wurde der zuletzt aufgeführte Zuflussbereich weggelassen.

Im **Rechenfall R12** schliesslich wurde die Durchlässigkeit des Hilssandsteins von  $10^{-5}$  m/s auf  $10^{-6}$  m/s herabgesetzt, da im Referenzfall die Grundwasserneubildungsrate im Bereich der Hilssandstein-Ausbissfläche am Salzgitter Höhenzug unrealistisch hohe Werte annimmt (s. Kap. 4.3).

#### 4.1.2 Schichtenmodell

Die Fälle R02 und R03 basieren auf der Geologie des Referenzfalles, jedoch werden die Multiplikationsfaktoren aller Störzonen auf 1 gesetzt. Die beiden Fälle entsprechen den 1988 modifizierten SWIFT-Modellrechnungen 1986 [34]; der Fall R02 entspricht der Variante 1, der Fall R03 der Variante 2. Die Unterschiede zum Referenzfall R01 gehen aus Tabelle 4-3 hervor.

Bezüglich der Durchlässigkeit des Deckgebirges können die Fälle R02 und R03 als Extremfälle angesehen werden: **Rechenfall R02** weist ein stark durchlässiges, **Rechenfall R03** ein gering durchlässiges Deckgebirge auf. Ferner sind in diesen Varianten die Tonsteine des Keuper, Lias und Dogger als isotrop durchlässig modelliert, d.h. die vertikale Durchlässigkeit ist gegenüber dem Referenzfall um den Faktor 100 erhöht.

#### 4.2 POTENTIALE

Die Modellrechnung ordnet jedem Punkt im System eine Druckspiegelhöhe (Ortshöhe plus Wasserdruck in m) zu, die hier synonym als Potential bezeichnet wird. Die Abbildung der Potentialverteilung beruht auf Schnittlinien beliebig komplizierter Äquipotentialflächen mit nicht geradlinigen Modellschnitten. Überraschende Linienverläufe können normalerweise diesem Sachverhalt zugeschrieben werden. Es ist jedoch nicht auszuschliessen, dass auch gewisse Diskretisierungseffekte die Feinstruktur der Potentialverläufe innerhalb einzelner Elemente beeinflussen.

Im folgenden werden die Modellergebnisse der einzelnen Rechenfälle anhand von Darstellungen des hydraulischen Potentials entlang ausgewählten Schnitten, auf den Basisflächen der Wasserleiter und entlang vertikalen Linien diskutiert. Die Isolinien-Darstellungen sind, nach Rechenfällen gruppiert, im Anhang C gegeben. Die Vertikalprofile des Potentials zeigen die Abb. 4-2 bis 4-8. Der Verlauf der Schnitte und die Orte der Vertikalprofile sind in den Abb. 3-3 und 4-1 gegeben.

#### 4.2.1 Referenzfall R01

Für diesen grundlegenden Rechenfall werden neben der Beschreibung der Potentiale (4.2.1.1 und 4.2.1.2) zusätzlich die Randbedingungen im Tal der Fuhse (4.2.1.3) sowie der Zufluss in das Grubengebäude bei atmosphärischen Randbedingungen (4.2.1.4) diskutiert.

##### 4.2.1.1 Potentialverteilung südlich des Konrad-Grabens -----

Am Salzgitter Höhenzug treten die höchsten Potentiale in allen drei Hauptwasserleitern Oberer Muschelkalk, Rhät und Hilssandstein jenseits des Ostendes der Störung h auf (siehe Anhänge C1.2.1, C1.2.2 und C1.2.6), einerseits weil die Ausbisse der erwähnten Wasserleiter dort topographisch am höchsten liegen, andererseits auch weil Ausbisse weiter im Westen fehlen (Hilssandstein) oder unterbrochen sind (Rhät). Als drittes macht sich der Einfluss der Störung h, die den Oberen Muschelkalk und das Rhät gegen die sehr geringdurchlässigen Tonsteine des Keuper und des Dogger verstellt, sehr deutlich bemerkbar.

Klar ersichtlich ist in den Schnitten wie auch in den Potentialverteilungen entlang der Basis von Wasserleitern der Einfluss der Störungen und Störzonen. In dem von keiner Störung erfassten Hilssandstein (Anhang C1.2.6), der damit nirgends unterbrochen ist oder eine Erhöhung seiner Durchlässigkeit erfährt, weist die Potentialverteilung auf eine Wasserflussrichtung aus dem SE-Teil des Salzgitter Höhenzuges zu den Ausbissen im Süden des Salzstockes Thiede hin.

Das Hilssandsteinwasser im engeren Standortgebiet stammt hauptsächlich aus dem westlich der Störung k liegenden Abschnitt des Salzgitter Höhenzuges. Dessen Fließrichtung im engeren Standortgebiet verläuft ungefähr West-Ost.

Auch das Rhät (Anh. C1.2.2) als Porenwasserleiter erfährt in den Störzonen keine Vergrößerung seiner Durchlässigkeit, hingegen wird es von einzelnen Störungen (Immendorfer Störung, Störungen h, i<sub>1</sub> und i<sub>2</sub>,



Bleckenstedter Sprung) verstellt und kommt mit weniger durchlässigen Schichten in Kontakt, was sich in einem verstärkten Potentialabbau bemerkbar macht.

Der **Obere Muschelkalk** (Anh. C1.2.1) schliesslich wird von mehreren Störungen erfasst und erfährt überdies als Kluftwasserleiter in den Störzonen eine Erhöhung seiner Durchlässigkeit. Beide Einflüsse können in der Potentialverteilung entlang der Basisfläche des Oberen Muschelkalkes gut nachvollzogen werden: die Potentiale erfahren an den Störungen im allgemeinen einen starken Abbau. In von Störzonen begleiteten Störungen ist der Potentialabbau geringer.

Aus dem Oberen Muschelkalk-Wasserleiter fliesst an folgenden Stellen Wasser in höhere Schichteinheiten ab:

- Im Gebiet der Störzonen entlang dem Salzgitter Höhenzug, insbesondere in der Störzone h (siehe Anh. C1.1, Schnitte 3 und 12)
- In den übrigen Störzonen
- Vertikale Flüsse durch den ungestörten Keuper-Tonstein sind stark unterdrückt. Wohl verlaufen im Bereich des Konrad-Grabens die Potentiallinien unter einem geringen Winkel zum Oberen Muschelkalk, jedoch werden die Flüsse durch die ausgeprägte Anisotropie in die Schichtrichtung abgelenkt (siehe Schnitte 4 und 5).

Wie der Obere Muschelkalk gibt auch das Rhät im Bereich der den Salzgitter Höhenzug begleitenden Störzonen Wasser in stratigraphisch höhere Schichten ab (siehe Schnitte 1, 3, 12 und 13). Wasserflüsse aus dem Rhät durch die Liastonsteine nach oben finden aus den bereits für den Oberen Muschelkalk erwähnten Gründen ausserhalb von Störzonen nur untergeordnet statt.

Wie bereits erwähnt, stellt der im engeren Standortgebiet auskeilende Hilssandstein einen wichtigen Wasserleiter mit hohen Potentialen dar. Er speist Wasser sowohl nach oben, mit ausgeprägtem Potentialabbau senkrecht zur Schichtung in die sehr gering durchlässigen Mergel des Alb als auch nach unten, in die etwas besser durchlässigen Unterkreide-Mergel ein (siehe Schnitte 4, 8-9).

Im engeren Standortgebiet herrscht im Bereich der Schichteinheiten, welche eine gegenüber dem Alb und der Unterkreide-Mergel erhöhte Durchlässigkeit aufweisen (teilweise verursacht durch die Multiplikationsfaktoren im Bereich des Konrad-Grabens und der Vergitterungszonen) eine ausgesprochen flache Potentialverteilung vor (siehe Schnitte 4, 8-9).

Obwohl die Potentiallinien des Schnittes 4 dies vermuten lassen könnten, dürften nur geringe Abflüsse aus der Lagerzone in Richtung Thiede vorkommen, da die Flüsse durch die Dogger-Tonsteine sehr gering sind und überdies infolge der ausgeprägten Anisotropie in eine schichtparallele Richtung abgelenkt werden. Zonen erhöhter Durchlässigkeit bilden die Störzonen, sowie die aus dem Oxford in den Dogger reichende Strecke. Letztere ist von besonderem lokalen Einfluss, und sie wird durch ein vertikales, bis zum Cornbrash reichendes 1D-Element simuliert (vgl. Kap. 3.2.5).

Das berechnete Potential im Grubengebäude, welches für den Zustand nach dem Verschluss und Fluten des Endlagers repräsentativ ist, beträgt 107 m NN und stimmt ausgezeichnet mit dem Resultat der entsprechenden SWIFT-Modellierung von 106 m überein.

#### 4.2.1.2 Potentialverteilung nördlich des Konrad-Grabens

-----

Entlang dem Nordrand der Störzone des Konrad-Grabens (siehe Anh. C1.1, Schnitt 5) herrscht wie im Schnitt 4 eine flache Potentialverteilung zwischen dem Rhät und der Basis der Alb-Mergel, mit Potentialen, die von 116 m (Oberer Muschelkalk, Westgrenze der Störzone a) bis 104 m (Basis Alb, oberhalb des Verbreitungsgebietes des Oxford) reichen. Der Cornbrash-Sandstein wird im Bereich des Konrad-Grabens aus dem Hangenden und Liegenden gespeist (siehe Schnitt 8-9). Ein ausgeprägter Potentialabbau, mit horizontalverlaufenden Isolinien, findet in den Alb-Mergeln statt. Im Ostabschnitt sind Flüsse im Oberen Muschelkalk und Rhät gegen den Salzstock Thiede hin zu verzeichnen.

Zwischen dem Konrad-Graben und der Nordgrenze des Salzstockes Broistedt-Wendeburg-Rolfsbüttel weist das Modellgebiet einen einfachen geologischen Bau auf:

- an den erwähnten Salzstock stossende, im grossen bis zur Unterkreide-Transgressionsfläche reichende Synklinale im Westen, übergehend in eine Antiklinalstruktur im Osten
- Auskeilen von Kimmeridge, Oxford, Doggertonsteinen und Cornbrash-Sandstein an der Unterkreidetransgression
- Flachlagernde Deckschichten aus Unterkreide, Alb, Plänerkalken und z.T. Emschermern.

Die bereits an der Nordgrenze des Konrad-Grabens beobachteten niedrigen Potentiale im Cornbrash-Sandstein zwischen einer darunter- (Oberer Muschelkalk bis Lias-Tonsteine) bzw. darüberliegenden (Oxford, Kimmeridge, Unterkreide) Zone höherer Potentiale ist infolge des höheren Kontrastes in den Durchlässigkei-

ten noch stärker ausgebildet, so dass sowohl von unten wie von oben her Flüsse zum Cornbrash-Sandstein hin stattfinden (siehe Schnitt 8-9). In den tiefliegenden Wasserleitern Oberer Muschelkalk und Rhät (Anh. C1.2.1 und C1.2.2) fließt das Grundwasser gegen Nordosten, jedoch kaum gegen Osten. In der Unterkreide sind die Flüsse von SW nach NE, gegen den Modellrand gerichtet (Anh. C1.2.5). Im sehr gering durchlässigen Alb erfolgt erneut ein starker vertikaler Potentialabbau (siehe Schnitte 5, 6, 8-9, 10, 14). Flüsse durch das Alb finden vorwiegend entlang dem Salzstockrand statt, wo die Mächtigkeit des Aquitards fast auf Null reduziert ist (siehe Schnitt 14).

In dem durch das Nordende des Salzstockes Rolfsbüttel und die beiden Äste der Überschiebung von Meine verlaufenden Querschnitt (siehe Schnitt 7) infiltriert Wasser immer noch in den Cornbrash-Sandstein, jedoch ist die Potentialverteilung oberhalb dieses Wasserleiters infolge der Reduktion der Mächtigkeit und der Verbreitung des Alb flacher geworden. Der Obere Muschelkalk weist mit 99 m immer noch das höchste Potential auf, wobei in den Keupertonsteinen ein ausgeprägter Potentialabbau stattfindet. Im Westast der Überschiebung von Meine werden die Wasserleiter des Oberen Muschelkalkes und des Rhät gegen Tonsteine versetzt. Das Rhät gelangt dadurch in die Nähe des Oberen Muschelkalkes, was - verstärkt durch die erhöhten Durchlässigkeiten in der Störzone e - einen gewissen Ausgleich der Potentiale zwischen Oberem Muschelkalk und Rhät bewirkt. Andererseits findet, infolge der kräftigen Versetzung des Rhät, in den Lias-tonsteinen im Nordosten des Westastes der Störzone e ein ausgeprägter Potentialabbau statt (siehe Schnitt 10).

#### 4.2.1.3 Randbedingung im Tal der Fuhse

-----

Um den Einfluss der Randbedingung am senkrechten Modellrand zwischen dem Salzgitter Höhenzug und dem Salzstock Broistedt, also im Tal der Fuhse, zu ermitteln, wurde in einem speziellen Rechenfall die Randbedingung an dieser Stelle variiert: Anstelle der Bedingung "Kein Wasserfluss durch den Rand in allen geologischen Schichten" wurde das hydraulische Potential auf dem Modellrand in den Schichten Plänerkalke, Emschermergel und Quartär der Kote der darüberliegenden Grundwassergleiche gleichgesetzt. Diese Randbedingung erlaubt einen Wasserfluss durch den Modellrand.

Im Referenzfall R01, wo der zur Diskussion stehende Modellrand undurchlässig angenommen wird, infiltriert Wasser an der Terrainoberfläche in die leicht gegen den Salzgitter Höhenzug ansteigenden Plänerkalke der Tal-

flanke und exfiltriert in den Talniederungen. Im speziellen Rechenfall mit dem teilweise offenen Rand fließt durch den südlichen Bereich des Randes, unter der Talflanke, Wasser mit einer mittleren Filtergeschwindigkeit von etwa  $10^{-9}$  m/s ins Modellgebiet hinein, im mittleren und vor allem im nördlichen Bereich des Randes fließt Wasser aus dem Modell ab (Filtergeschwindigkeit im nördlichen Bereich ca.  $10^{-8}$  m/s).

Der gesamte Wasserfluss durch den offenen Rand beträgt

Abfluss	$5 \cdot 10^{-3}$ m <sup>3</sup> /s
Zufluss	$1 \cdot 10^{-3}$ m <sup>3</sup> /s

Die für den speziellen Rechenfall gewählten Randbedingungen sollen nicht eine realistische Darstellung der wirklichen Verhältnisse sein, eine solche wäre nur mit einem umfangreichen zusätzlichen Modellierungsaufwand zu erreichen. Statt dessen stellt die Variation der Randbedingung das Ausmass der Unsicherheit dar. Der Vergleich der Modellresultate für den speziellen Rechenfall und für den Referenzfall zeigt den Einfluss der Unsicherheit bei den Randbedingungen. Im Hilssandstein, dem wichtigsten Wasserleiter im Hangenden des Oxford, sind im speziellen Rechenfall die hydraulischen Potentiale um weniger als  $3 \cdot 10^{-4}$  m WS niedriger als im Referenzfall, wobei die Potentialabsenkung nur in einem eng begrenzten Gebiet in der Nähe des Modellrandes auftritt. Im Oxford selbst ist der Einfluss der Randbedingung sogar geringer als die numerische Rechengenauigkeit der Programme, welche für die Darstellung der Resultate eingesetzt werden (ca.  $10^{-5}$  m Wassersäule).

Aus diesen Resultaten folgt, dass die Randbedingung im Tal der Fuhse in den Schichten Quartär, Emschermergel und Plänerkalke keinen Einfluss auf den Wasserfluss in den tiefen geologischen Schichten hat.

#### 4.2.1.4 Vergleich mit den heutigen Zuflussraten zum Grubengebäude

-----

Der Zufluss zur Grube Konrad aus dem Gebirge beträgt heute ca. 50 l/min [7].

In einem speziellen Rechenfall (R09) wurde, unter Verwendung der Parameter und Randbedingungen des Referenzfalles R01, als zusätzliche Randbedingung das Potential auf dem Rand des Grubengebäudes gleich der entsprechenden Ortshöhe gesetzt, d. h. atmosphärische Bedingungen vorgegeben. Damit entspricht dieser spezielle Rechenfall R09 ungefähr den heutigen Verhältnissen. Unterschiede bestehen darin, dass

- die Ausdehnung des Grubengebäudes heute wesentlich geringer ist als im Modell, welches auch die noch aufzufahrenden Einlagerungsfelder berücksichtigt
- bei der Modellierung eine zeitlich stationäre Potentialverteilung angenommen wird, während heute die Ausdehnung der Potentialabsenkung um das Grubengebäude noch nicht abgeschlossen sein dürfte.

Mit dem derart definierten Rechenfall kann die Zuflussrate für den stationären Zustand ermittelt und mit dem heutigen, gemessenen Wert verglichen werden. Durch den ersten der oben aufgeführten Unterschiede wird der Zustrom etwas überschätzt, durch den zweiten wesentlich unterschätzt.

Die Auswertung des Rechenfalls R09 ergibt eine Zuflussrate von ungefähr 1 000 l/min. Das steile Einfallen des Grubengebäudes, die Lage in der Störzone des Konrad-Grabens, der Einfluss der speziell modellierten Strecken sowie die durch die Randbedingungen verursachten starken und inhomogenen hydraulischen Gradienten verhindern bei der vorliegenden Diskretisierung eine Bestimmung des Zuflusses mit einer Genauigkeit, die jener der in Kap. 4.4 behandelten Durchflussraten durch das Grubengebäude entspricht.

Selbst unter Berücksichtigung der Ungenauigkeit der berechneten Zustromrate und der zu gross angesetzten Ausdehnung der Grube kann geschlossen werden, dass der berechnete Wert signifikant über dem "gemessenen" Wert liegt.

Da die durchgeführte Modellberechnung nicht erlaubt, den Parameter zu identifizieren, welcher den Zufluss wesentlich bestimmt (dies braucht nicht notwendigerweise der Durchlässigkeitsbeiwert des Oxford zu sein), kann aus diesem Sachverhalt nur geschlossen werden, dass die verwendeten Werte für die hydraulischen Durchlässigkeiten in der Tendenz zu hoch, also auf der konservativen Seite der tatsächlichen Werte liegen.

#### 4.2.2

##### Rechenfälle R02 bis R07, R11 bis R13

Für die übrigen Rechenfälle R02 bis R07, R11 bis R13 werden die Potentialverteilung sowie die Potentialdifferenz zum Referenzfall in Schnitten und entlang Basisflächen von Wasserleitern dargestellt. Die Darstellung der Potentialdifferenz zwischen dem für den entsprechenden Rechenfall und dem für den Referenzfall ermittelten Potentialfeld, zeigt den Einfluss der Parameter- bzw. Randbedingungsänderung deutlich.

Die umfangreiche Dokumentation der Rechenergebnisse ist im Anhang C zusammengestellt und erlaubt, Fragen nach den Ursachen von Unterschieden zwischen den Rechenfällen zu beantworten. Da sich das generelle Muster der Potentialverteilung von Rechenfall zu Rechenfall nur wenig ändert und da der Hauptzweck der Modellierung in der Berechnung der Fliesswege, Fliesszeiten und Wasserflüsse besteht, wird auf eine Diskussion der Potentialdarstellungen verzichtet.

Für eine grobe Übersicht sind in den Abb. 4.2 bis 4.8 für 7 Orte die Potentiale als Funktion der Tiefe (Vertikalprofile) dargestellt.

Bezüglich dem Grubengebäude weisen diese Orte folgende Lage auf (siehe Abb. 4-1):

- Die Orte 1464, 1499, 1515 und 965 befinden sich auf dem Südrand der Störzone Konrad-Graben, wobei Ort 1499 auf dem Westrand, Ort 1515 innerhalb des Grubengebäudes liegen.
- Der Ort 965 befindet sich westlich des Konrad-Grabens, zwischen der Immendorfer Störzone und dem Salzstock Thiede.
- Die Orte 747 und 725 liegen im Abflussbereich, auf dem Nordrand der Störzone Konrad-Graben.

Im folgenden werden Potentialverteilungen in diesen Profilen für die einzelnen Rechenfälle diskutiert.

Die Potentiale der Rechenfälle R07 und R12 weisen gegenüber dem Referenzfall R01 nur sehr geringe Unterschiede auf.

Auf dem Südrand des Konrad-Grabens (Orte 1464, 1499, 1515 und 965) sind die Potentiale in den Rechenfällen R02 und R03 (Schichtenmodell) lediglich ab den Dogger-Tonsteinen nach unten um einige Meter grösser als jene des Referenzfalles R01. Westlich des Salzstockes Thiede (Ort 933) sind sie im Rhät um 2-3 m tiefer, im Oberen Muschelkalk hingegen um 10 m höher als im Referenzfall. Am Nordrand des Konrad-Grabens ist gut sichtbar, dass in beiden Fällen das Alb und die Unterkreide, im Gegensatz zum Referenzfall, dieselbe Durchlässigkeit aufweisen. Die Potentiale sind vom Kimmeridge bis hinunter in den Oberen Muschelkalk im Rechenfall R02 3 bis 6 m, im Rechenfall R03 1 bis 5 m niedriger als im Referenzfall.

In den Rechenfällen R04 und R05 sind auf dem Südrand des Konrad-Grabens die Potentiale in den Orten 1464, 1499, 1515 und 965 sehr ähnlich und im Vergleich zum Referenzfall in jenen Schichteinheiten, die in den Störzonen eine Erhöhung der Durchlässigkeit erfahren um etwa 5 m (R04, Oberer Muschelkalk) bis etwa 10 m (R04, Kimmeridge bis Basis Dogger; R05, Kimmeridge bis Basis Dogger, Oberer Muschelkalk) höher. Im Ort

965 (westlich Thiede) ist das Potential in beiden Fällen an der Basis Unterkreide um etwa 8 m, im Oberen Muschelkalk um etwa 5 bis 6 m höher als im Referenzfall. Am Nordrand des Konrad-Grabens ist in beiden Fällen das Potential zwischen der Basis des Alb und der Oberfläche der Lias-Tonsteine um etwa 10 m höher. Bis zum Oberen Muschelkalk hinunter nimmt die positive Potentialdifferenz zu R01 auf 3 bis 4 m ab. Die Erhöhung der Multiplikationsfaktoren des Konrad-Grabens und der Vergitterungszone bewirkt also im Bereich des Konrad-Grabens eine deutliche Potentialerhöhung im Schichtpaket Kimmeridge bis Basis Dogger um etwa 10 m, die sich gegen unten (Oberer Muschelkalk) und gegen Thiede zu verringert.

Im Rechenfall R06 bewirkt die Verringerung der Durchlässigkeiten im Konrad-Graben keine oder lediglich eine geringe Erhöhung des Potentials auf dem Südrand des Konrad-Grabens (Orte 1464, 1499, 1515 und 965), jedoch eine sehr deutliche Erniedrigung im Abflussbereich:

- . in Unterkreide bis Dogger rund 20 m am Ort 747, rund 12 m am Ort 725
- . im Rhät und Oberen Muschelkalk 5 bis 15 m am Ort 747, 3 bis 10 m am Ort 725)

Die Erhöhung der Potentialdifferenz zwischen dem Süd- und dem Nordrand des Konrad-Grabens ist also besonders ausgeprägt entlang dem Salzstockrand Broistedt (Störzone).

In den Rechenfällen R11 und R13 bewirkt die Vorgabe von Flüssen am südlichen sowie am östlichen Modellrand eine Erhöhung des Potentials entlang dem Südrand der Störzone Konrad-Graben unterhalb der Basis der Unterkreide um 8 bis 10 m im Westen (Orte 1464, 1499), um 10 bis 15 m im Osten (Orte 1515, 965). Westlich des Salzstockes Thiede (Ort 933) steigt das Potential im Rhät und Oberen Muschelkalk gegenüber dem Referenzfall R01 um etwa 10 m an. Auf der Nordseite der Störzone Konrad-Graben beträgt die Erhöhung des Potentials gegenüber dem Referenzfall R01 im Oberen Muschelkalk und Rhät 10 bis 15 m, im Cornbrash-Sandstein bis Unterkreide rund 6 bis 7 m.

Die Erniedrigung der Durchlässigkeit des Hilssandsteins von  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s auf  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s (Rechenfall R12) ergibt im Bereich der Störzone Konrad-Graben eine Potentialverteilung, die nur unwesentlich von jener des Referenzfalles abweicht.

#### GRUNDWASSERNEUBILDUNG

Gemäss den Vorgaben der PTB ist im Modell der Grundwasserneubildungsrate im Quartär Aufmerksamkeit zu schenken. Da diese Werte aus regionalen hydrogeologischen Untersuchungen recht gut bekannt sind, stellt sich die Frage, ob sie sich als mögliche Parameter zur Validierung der FE-Modellrechnungen anbieten könnten. Dazu ist jedoch zu bemerken, dass bei der vorliegenden Fragestellung (Durchfluss durch das Grubengebäude und Wasserfliesswege) nur die Wasserflüsse in den Tiefenwasserleitern und Aquitarden interessieren. Aus diesem Grunde wurde das Quartär nur mit einer beschränkten, der Fragestellung angepassten Genauigkeit modelliert. Andererseits könnten die bekannten Daten zur Neubildungsrate im Quartär nur zur Validierung der Quartär-Modellierung herbeigezogen werden, was die vorliegenden Fragestellungen jedoch nicht berührt.

Um die Neubildungsrate der tiefen Grundwässer zu illustrieren, sind für den Rechenfall R01 in den Anhängen C1.4.1 bis C1.4.3 die Flüsse an der Basis des Quartärs, Infiltrationen und Exfiltrationen in den Felsuntergrund, dargestellt, wobei besonders der Bereich des Salzgitter Höhenzuges von Bedeutung ist (siehe Anhang C1.4.3). Wie aus dieser Grafik hervorgeht, herrschen innerhalb einzelner Oberflächenelemente zum Teil sehr hohe Infiltrationen, begleitet von ausgesprochenen Exfiltrationen (Filtergeschwindigkeit bis 30 m/Jahr). Diese Situation wird verursacht durch die Kombination lokal starker Geländeneigungen mit höheren Durchlässigkeiten der Wasserleiter: Auf der bergwärtigen Seite der Ausbissfläche eines Wasserleiters herrscht eine starke Infiltration; der grösste Teil des infiltrierten Wasser exfiltriert jedoch auf dessen talwärtiger Seite, vor dem Kontakt zu der talwärts anschliessenden Aquitarde. Die Kombination von hoher Durchlässigkeit und starkem Gefälle des Geländes führt daher zur Bildung von oberflächennahen, lokalen Systemen, die sich den eigentlichen Wasserinfiltrationen in die Wasserleiter überlagern. Ähnliche Effekte sind bereits bei der SWIFT-Modellierung beobachtet worden (siehe z.B. Dok. [7]). Wir betrachten daher die Basisfläche des Quartärs nicht als geeignet zur Bilanzierung des Wasserdurchsatzes durch das Modell.

Wesentliches Infiltrationsgebiet für das Modell sind die in der regionalen Hochzone des Salzgitter Höhenzuges ausbeissenden Wasserleiter Oberer Muschelkalk, Rhät und Hilssandstein. Das nicht in lokalen Systemen an der Quartär-Basis im Bereich des Höhenzuges wieder austretende Infiltrationswasser durchfliesst das Modell. Eine Bilanz über das die Wasserleiter am Fusse des Salzgitter Höhenzuges durchfliessende Wasser erfasst daher die für das Modell wesentlichen Wasser-



flüsse. Aus diesem Grunde sind für die Rechenfälle R01, R11 und R12 die Durchflüsse durch den entlang dem Fuss des Salzgitter Höhenzuges laufenden Schnitt 1 berechnet worden. Diese Durchflüsse sind in Tabelle 4-4 zusammengefasst und in den Anhängen C1.5.1, C11.6.1 und C12.6.1 graphisch dargestellt.

Diesem Durchfluss entspricht, bezogen auf die geschätzten Ausbissflächen der erwähnten Wasserleiter im Salzgitter Höhenzug

Hilssandstein	ca. 160 000 m <sup>2</sup>
Rhät	ca. 400 000 m <sup>2</sup>
Oberer Muschelkalk	ca. 400 000 m <sup>2</sup>

ungefähr eine Infiltrationsrate von:

	R01	R11	R12
	mm/a	mm/a	mm/a
Hilssandstein	4900	4900	560
Rhät	50	20	50
Oberer Muschelkalk	330	260	140

Der mittlere Jahresniederschlag beträgt nach Dok. [7] am Salzgitter Höhenzug rund 650 mm/a. Die Infiltrationsrate in den Hilssandstein ist in den beiden Rechenfällen R01 und R11 sehr hoch und veranlasste die PTB zur Ausführung des Rechenfalles R12, in dem die Durchlässigkeit des Hilssandsteins um eine Grössenordnung, von  $10^{-5}$  auf  $10^{-6}$  m/s, herabgesetzt wurde.

Die berechneten Infiltrationsraten für das Rhät weisen im Vergleich zu den Niederschlägen eine realistische Grössenordnung auf. Jene für den Oberen Muschelkalk und - im Rechenfall R12 - für den Hilssandstein sind hoch, was darauf hindeutet, dass die für die Modellierung verwendeten  $k_f$ -Werte dieser Wasserleiter zu hoch gewählt sind und die wirklichen Durchlässigkeiten geringer sein dürften. Eine überdurchschnittlich hohe Infiltrationsrate in die Ausbisse von steilstehenden Wasserleitern ist allerdings theoretisch vorstellbar, wenn man berücksichtigt, dass sich diese Ausbisse in hügeligem Gelände befinden, hangparallel verlaufen und durch breite Bänder von Aquitarden getrennt sind. Unter diesen Umständen kann in den Wasserleitern nicht nur das auf die Ausbisse auftreffende Niederschlagswasser versickern, sondern überdies noch Oberflächenwasser, welches von den undurchlässigen Aquitardenausbissen abfließt.

Der Vergleich der Flüsse durch den Schnitt 1 in den Rechenfällen R01 und R12 ergibt (s. Tab. 4-4)  
- eine Herabsetzung des Durchflusses durch den Hilssandstein ungefähr proportional zu seiner Durchlässigkeit

- eine Erniedrigung des Durchflusses durch den Wasserleiter des Oberen Muschelkalkes von 250 auf 110 l/min
- keine Veränderung des Flusses durch das Rhät

Besonders der zweite Umstand ist überraschend. Es ist jedoch zu bedenken, dass nördlich anschliessend an den Schnitt 1 in den Störzonen i und k die Durchlässigkeit des Oberen Muschelkalkes, der Keuper- und Liastonsteine um den Faktor 25 heraufgesetzt ist, was Flüsse aus den Wasserleitern mit höherem Potential (Oberer Muschelkalk, Rhät) zum Hilssandstein (der ein geringeres Potential aufweist) erleichtert. Durch die Erniedrigung der Durchlässigkeit des Hilssandsteins kann weniger Wasser aus den tieferen Wasserleitern nach oben abfliessen. Ähnliche Flüsse aus den Wasserleitern mit höherem Potential zu jenem mit geringerem Potential können ebenfalls südlich des Schnittes 1, insbesondere in der Störzone h, stattfinden.

Dies erlaubt jedoch auch den Schluss, dass die der Berechnung der Infiltrationsraten in die Ausbissflächen der Wasserleiter zugrunde liegende Annahme, dass der Fluss in den Wasserleitern durch Schnitt 1 der Infiltration in die entsprechenden Wasserleiter an der Terrainoberfläche entspreche, nicht vollständig richtig zu sein braucht. Der Gesamtdurchfluss durch den Schnitt 1 kann lediglich mit der Gesamtinfiltration in die drei erwähnten Wasserleiter gleichgesetzt werden. Eine genauere Bestimmung der Infiltration in die einzelnen Wasserleiter wäre nur mit einer feineren Diskretisierung, verbunden mit einem lokal veränderten Modellkonzept, möglich.

#### 4.4 DURCHFLUSS DURCH DAS GRUBENGEBÄUDE

##### 4.4.1 Einleitung

Ein wichtiges Ergebnis der Modellierung bilden die Werte für den Wasserfluss durch den Endlagerbereich. Für die Quantifizierung dieser Grösse wurde aus den berechneten hydraulischen Potentialen der Wasserfluss durch das als dreidimensionaler Körper modellierte Grubengebäude und die durch 1D-Elemente gesondert simulierten Strecken berechnet.

Der Wasserdurchfluss wurde durch numerische Integration der lokalen Wasserflüsse durch die Oberfläche des Grubengebäudes berechnet. Zu diesem Zweck wurde die aus der Potentialverteilung im Oxford berechnete Filtergeschwindigkeit über die Oberfläche des Gruben-

gebäudes integriert. Der Wasserfluss durch die 1D-Elemente wurde aus der Potentialverteilung in den 1D-Elementen und aus deren Transmissivität gesondert berechnet.

Die Filtergeschwindigkeit und damit auch die Wasserflüsse sind sekundäre Ergebnisse des Modells FEM301, d. h. Werte, welche aus den primären Resultaten, den Potentialen, abgeleitet sind. Aus diesem Grunde ist die Wassermenge insbesondere an Schichtgrenzen mit starkem Durchlässigkeitskontrast nicht streng erhalten. Im vorliegenden Fall werden diese numerischen Fehler durch eine äusserst flache und unregelmässige Potentialverteilung noch zusätzlich verstärkt. Die numerischen Fehler äussern sich darin, dass der Zufluss zum Grubengebäude und der Abfluss nicht exakt gleich sind. Als Durchfluss durch das Grubengebäude wird der Mittelwert von Zu- und Abfluss angegeben. Die Differenz zum Zu- bzw. Abfluss ist ein Mass für den Fehler der Berechnung, er variiert je nach Rechenfall zwischen 0,5 % und 40 %, bezogen auf den Mittelwert.

#### 4.4.2 Ergebnisse

In allen Rechenfällen erfolgt die Durchströmung des Grubengebäudes im wesentlichen horizontal von Süd nach Nord. Die berechneten gesamten Wasserflüsse durch das Grubengebäude, die Flüsse durch die gesondert modellierten Strecken und das Mass für den Fehler für alle Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13 sind in Tab. 4-5 dargestellt.

Im Referenzfall beträgt der gesamte Durchfluss durch das Grubengebäude 1,2 l/min ( $630 \text{ m}^3/\text{a}$ ). Durch die Doggerstrecke ins Liegende, simuliert durch den Schacht Konrad 2, fliesst 0,2 l/min oder 17 % ins Grubengebäude. Der Abfluss durch die Nordstrecke ist vernachlässigbar klein. Die Berechnung des Wasserflusses mit dem SWIFT-Modell ergab für den vergleichbaren Fall einen Wert von  $1\,240 \text{ m}^3/\text{a}$ . Der Unterschied von einem Faktor 2 könnte auf die grössere Ausdehnung des Grubengebäudes im SWIFT-Modell zurückzuführen sein.

Im Rechenfall R02 ist die Durchlässigkeit des Oxford gegenüber dem Wert im Referenzfall ausserhalb der Störzone des Konrad-Grabens um einen Faktor 10 grösser. Dies und die erhöhte Durchlässigkeit des Deckgebirges bewirkt einen erhöhten Wasserfluss von 5,4 l/min ( $2\,840 \text{ m}^3/\text{a}$ ), zu vergleichen mit  $3\,200 \text{ m}^3/\text{a}$  im SWIFT-Modell. Der Zufluss durch die Doggerstrecke beträgt 0,4 l/min (7 %), der Abfluss durch die Nordstrecke 0,2 l/min.

Die Reduktion der Durchlässigkeit des Deckgebirges im Rechenfall R03 verringert den Wasserfluss gegenüber dem Fall R02 auf 2,0 l/min (1050 m<sup>3</sup>/a). Dieser Unterschied zeigt, dass der Fluss durch das Wirtgestein und damit auch durch das Grubengebäude wesentlich von der Durchlässigkeit des Deckgebirges bestimmt wird. Dieser Umstand wird auch durch die flache Potentialverteilung in den Schichten Oxford und Kimmeridge im Bereich des Grubengebäudes illustriert. Als Folge des reduzierten Wasserflusses aus dem Hilssandstein durch die Unterkreide in den Cornbrash südlich des Grubengebäudes ist das Potential im Cornbrash niedriger als im Fall R02. Diese Potentialabsenkung bewirkt eine Umkehr der Fliessrichtung in der Doggerstrecke: im Fall R03 fließt 0,15 l/min durch die Doggerstrecke aus dem Grubengebäude ab. Für den Fall R03 ergibt das SWIFT-Modell einen Wasserfluss von 1620 m<sup>3</sup>/a.

Die Erhöhung der Durchlässigkeiten im Konrad-Graben und in den Vergitterungszonen hat nur einen geringen Einfluss auf den gesamten Durchfluss des Grubengebäudes (R04, R05). Als wesentlicher Unterschied zum Referenzfall ist der starke Abfluss von Wasser entlang der Doggerstrecke und der relativ grosse Fehler (starke Verletzung der Bilanz) zu vermerken. Die berechneten Wasserflüsse sind um einen Faktor 2 bzw. 3 geringer als die Werte der SWIFT-Modellierung.

Im Rechenfall R06 ist die Störzone des Konrad-Grabens wesentlich weniger durchlässig als im Referenzfall R01 und hemmt dadurch den allgemeinen Süd-Nord Fluss des Tiefengrundwassers. Das Grubengebäude, welches weit in die Störzone hineinreicht, bildet daher einen bevorzugten Fliesspfad, was den erhöhten Wasserdurchfluss erklärt. Dies wird auch durch den relativ hohen Abfluss von Wasser durch die Nordstrecke deutlich. Der erwähnte Effekt ist bei der SWIFT-Modellierung nicht zu beobachten: FEM301 ergibt mit 1,7 l/min einen gegenüber dem Referenzfall um den Faktor 1,4 erhöhten Wasserfluss, während der entsprechende Faktor bei der SWIFT-Modellierung 0,4 beträgt.

Der Rechenfall R07 zeigt den Einfluss der Nord- und Doggerstrecke. Wie erwartet sinkt der Wasserfluss ohne Berücksichtigung der beiden Strecken gegenüber dem Referenzfall um 0,2 l/min.

In den Rechenfällen R11 und R13, in denen infolge der Veränderungen der Randbedingungen an den Süd- und Osträndern des Modellgebietes Wasser in die tiefen Wasserleiter zufließt, erhöht sich der Wasserfluss durch das Grubengebäude auf 1,7 l/min. Der Anstieg des Durchflusses erfolgt hauptsächlich durch einen erhöhten Zufluss über die Doggerstrecke.

Die Reduktion der Durchlässigkeit des Hilssandsteins im Rechenfall R12 erhöht den Durchfluss durch das Grubengebäude nur unwesentlich.

#### 4.4.3 Schlussfolgerungen

Die Berechnung des Wasserflusses mit dem Modell FEM301 ergibt für das Störzonenmodell Werte zwischen 1 und 2 l/min. Die Werte variieren nur wenig mit den durchgeführten Parameteränderungen. Sie liegen fast immer (Ausnahme Rechenfall R06) um einen Faktor von etwa 2 unterhalb der SWIFT-Werte.

Für das Schichtenmodell ergibt FEM301 höhere Werte als für das Störzonenmodell, die Werte liegen wiederum tiefer als die Resultate von SWIFT.

#### 4.5 FLIESSWEGE

##### 4.5.1 Grundlagen

##### 4.5.1.1 Methode der Fliesswegberechnung

-----

Mit Hilfe der Fliesswegberechnung werden die potentiellen Ausbreitungswege vom Endlager an die Biosphäre bestimmt. Die Fliesswege werden durch folgende Eigenschaften charakterisiert:

- . geometrischer Verlauf (d. h. durchflossene geologische Einheiten)
- . Fliesszeiten
- . Konvektionsgeschwindigkeiten

Die wichtigsten Fliesswegparameter sind die Fliessgeschwindigkeit und die Fliessdistanz, welche zusammen mit den Sorptionseigenschaften des durchflossenen Gesteins bestimmend sind für die Radionuklid-Migration.

Die Berechnung der Fliesswege erfolgt mit Hilfe der "Gradientenmethode": ausgehend von einem vorgegebenen Startpunkt wird in genügend kleinen Schritten der jeweiligen Fliessrichtung gefolgt. Die Fliessrichtung ist gegeben durch das Vektorfeld

$$v = k_f/\epsilon \cdot \text{grad } h \quad (4-1)$$

wobei  $k_f$  den Durchlässigkeitstensor,  $\epsilon$  die Porosität und  $h$  das Skalarfeld des hydraulischen Potentials bezeichnen.

Gleichzeitig mit dem geometrischen Vorwärtsschreiten entlang einer Fließlinie (dem sog. "tracken") werden die den einzelnen Schritten entsprechenden Weglängen und Zeitschritte aufsummiert:

$$s_i = s_{i-1} + \Delta s_i \quad (4-2)$$

$$\Delta s_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2 + (z_i - z_{i-1})^2} \quad (4-3)$$

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t_i \quad (4-4)$$

$$\Delta t_i = \Delta s_i / v_i \quad (4-5)$$

Ein Fließweg wird somit beschrieben durch eine Folge von nummerierten Punkten im Raum mit den dazugehörigen aufsummierten Weglängen und Fließzeiten:

0	$x_0$	$y_0$	$z_0$	0	0	(Startpunkt)
1	$x_1$	$y_1$	$z_1$	$s_1$	$t_1$	
2	$x_2$	$y_2$	$z_2$	$s_2$	$t_2$	
.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	.	
N	$x_N$	$y_N$	$z_N$	$s_N$	$t_N$	(Endpunkt)

Zur Darstellung gelangen üblicherweise der geometrische Verlauf (Punkte  $x_i, y_i, z_i$ ) oder Weg-Zeit-Diagramme (Punkte  $s_i, t_i$ ), vgl. Anh. C.

#### 4.5.1.2 Das Rechenprogramm TRACK

-----

Die Fließwegberechnung wird mit dem Rechenprogramm "TRACK" durchgeführt. Die Einbettung von "TRACK" in das Programm- und File-System ist in Abb. 3-4 dargestellt.

Die in vielen Tracking-Programmen auftretenden "üblichen" Probleme, insbesondere die Fließweg-Oszillationen zwischen benachbarten Elementen mit hohem Durchlässigkeitskontrast, wurden im Programm "TRACK" weitgehend eliminiert. Noch vereinzelt auftretende Oszillationen, welche ein Abbruchkriterium auslösen, sind auf die folgenden zwei Modelleigenschaften zurückzuführen:

- a) Lokale Senken: Diese entstehen in Gebieten mit flacher Potentialverteilung als Folge der Verwendung quadratischer Interpolationsfunktionen.
- b) An der Grenzfläche zwischen Wasserleitern und anisotropen Wasserstauern können Oszillationen entstehen, falls die Potentialverteilung im Wasserleiter sehr flach ist.

Bis in die Nähe des Abbruchpunktes sind die Werte für Weg und Zeit der abgebrochenen Trajektorien belastbare Daten für ihren Verlauf.

Zur Vermeidung von Oszillationen wäre eine stellenweise Verfeinerung des Elementnetzes notwendig, was jedoch aufgrund der bereits vorliegenden Modellgrösse nur in bescheidenem Masse durchgeführt werden könnte.

In den unten beschriebenen Fließwegberechnungen wird deshalb ein alternatives Vorgehen gewählt: Bei Trajektorien, welche wegen Oszillationen abgebrochen werden müssen und deren integrierte Laufzeiten einen Schwellenwert von  $10^6$  Jahren noch nicht überschritten haben, wird in der Umgebung des Abbruchpunktes ein zweiter Startpunkt für das Fortsetzen des Trackens gewählt.

Es ist an dieser Stelle festzuhalten, dass die hydraulische Durchlässigkeit des Oxford und des Kimmeridge jene der angrenzenden Aquitarde um ca. drei Grössenordnungen übersteigt, so dass die Potentialverteilung im Oxford äusserst flach ist. Im Grubengebäude, wo die Durchlässigkeit nochmals vier Grössenordnungen grösser ist als im Oxford, sind die Potentialdifferenzen entsprechend noch geringer. Die Potentialverteilung in der Grube und in deren Umgebung ist also extrem flach und durch Durchlässigkeitsdifferenzen an den Rändern des Grubengebäudes und des Konrad-Grabens gestört. Unter diesen Bedingungen können schon kleine numerische Fehler ausgedehnte lokale Senken des Potentials entstehen lassen. Diese können im Bereich des Grubengebäudes ein ganzes Element überdecken, so dass der neue Startpunkt unverhältnismässig weit verlegt werden müsste. In solchen Fällen wird auf ein Fortsetzen der Fließlinie verzichtet und die abgebrochene Trajektorie nicht berücksichtigt (Kennzeichnung der Trajektorien-daten in den Tabellen 4-6 bis 4-15 durch runde Klammern).

#### 4.5.1.3 Startpunkte

-----  
Für sämtliche 10 Rechenfälle sind die Fließwege und Fließzeiten für 20 Trajektorien-Startpunkte berechnet worden. Wie aus Abbildung 4-9 hervorgeht liegen die Startpunkte an folgenden Orten:

- a) In halber Höhe des Grubengebäudes
- Nr. 1, 2 und 3 am Westrand des südlichen Teil des Grubengebäudes
  - Nr. 4, 6, 5 und 16 am Ostrand des südlichen Teil des Grubengebäudes
  - Nr. 3, 10, 11, 14 und 16 entlang dem Nordrand des Grubengebäude-Südabschnittes, d.h. auf der Bleckenstedter Störung (C<sub>2</sub>)
  - Nr. 12, 13 und 15 im Nordrand des Nordabschnittes des Grubengebäudes
  - Nr. 7, 8 und 9 im Innern des Südabschnittes des Grubengebäudes
- b) Spezielle Trajektorien-Startpunkte in den 1D-Elementen der Nordstrecke und der Doggerstrecke des Schachtes Konrad 2
- Nr. 17 am Ausgangspunkt des 1D-Elementes der Nordstrecke in der oberen Grenzfläche des Grubengebäudes (oberhalb Startpunkt Nr. 13)
  - Nr. 18 am Ende der Nordstrecke
  - Nr. 19 im Schacht Konrad 2, an der Basis des Grubengebäudes (unterhalb Startpunkt Nr. 17)
  - Nr. 20 in der Nähe des unteren Endes des Schachtes Konrad 2. (Da ein exakt vom unteren Ende des Schachtes ausgehender Fliessweg bis auf den im Schacht verlaufenden Teil stets mit dem Fliessweg Nr. 19 identisch ist, wird der Startpunkt 20 in einiger Entfernung vom Schacht im Dogger liegend angenommen.)

#### 4.5.2 Ergebnisse

Für die Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13 sind pro Rechenfall 20 Fliesswege gerechnet worden, insgesamt also 200.

Von diesen 200 Fliesswegen erreichen 109 die Modelloberfläche (Quartär). Die übrigen lassen sich wie folgt einteilen:

Innerhalb des Modells mit einer  
FlieSSzeit über 1 Mio Jahre abgebrochen : 65

Innerhalb des Modellgebietes mit einer  
FlieSSzeit zwischen 0,9 und 1 Mio Jahre  
abgebrochen : 2

In der Grubenumgebung in numerisch  
bedingten, ausgedehnten Potentialsenken  
abgebrochen und nicht fortgesetzt : 11

Aus numerischen Gründen in grosser  
Tiefe am seitlichen Modellrand  
(vor allem Störung n, Cornbrash) endend : 13



Die Resultate der Trajektorien-Rechnungen sind wie folgt dargestellt:

- Für alle Rechenfälle ist der Trajektorienverlauf graphisch auf drei Arten dokumentiert (Anhang C):
  - . als Grundriss
  - . als Aufriss
  - . als Weg-Zeit-Diagramm.
  
- Für alle Rechenfälle sind weiter die Fliesswegdaten sämtlicher Trajektorien in je einer Tabelle zusammengestellt, die neben der Trajektorien-Nr. die Laufstrecke, die Laufzeit, die mittlere Geschwindigkeit, die Schichteinheit und Koordinaten des Trajektorienendpunktes enthält (siehe Tabellen 4-6 bis 4-15). Die in den Tabellen aufgeführten Gauss-Krüger Koordinaten beziehen sich auf den Meridianstreifen  $9^{\circ}$ .

Aus den Tabellen kann entnommen werden, ob der Fliessweg an der Oberfläche austritt (Trajektorien-Endpunkt im Quartär,  $z$  mit positiven Werten) oder ob er abgebrochen werden musste ( $z$  negativ, kein Quartär am Endpunkt der Trajektorie). Bei den abgebrochenen Trajektorien ist die Nummer des Rechenschrittes (siehe Kap. 4.5.1.1), bei dem der Abbruch erfolgte, angegeben. Beträgt die Fliesszeit bis zum Abbruchpunkt weniger als  $10^6$  Jahre, so wurde der Fliessweg nach Festlegung eines in der Nähe des Abbruchpunktes gelegenen neuen Startpunktes fortgesetzt. Fliesswege, die aus den in Kap. 4.5.1.2 angeführten Gründen im Grubengebäude abbrechen, sind mit Klammern gekennzeichnet.

Einige Trajektorien enden am seitlichen Modellrand, ohne an die Oberfläche zu gelangen. Es handelt sich dabei meist um Trajektorien, die im Cornbrash-Sandstein dem Salzstockrand Broistedt-Wendeburg-Rolfsbüttel entlang verlaufen und den Modell-Westrand zwischen den Salzstöcken Rolfsbüttel und Gifhorn erreichen.

Einzelne Fliesswege treten ins Salz ein, im allgemeinen bei Bortfeld, wo der Salzstockrand etwas gegen Osten ausschwenkt. In der Regel kehren die Trajektorien nach Durchlaufen des Salzstockes über eine Strecke von einigen hundert Metern wieder in die Störzone zurück. Bei diesen Trajektorien werden die Verweilzeit und -strecke im Salz nicht berücksichtigt.

Um die Unterschiede zwischen den Trajektorien- und den Trajektorienendpunktdaten der einzelnen Rechenfälle besser sichtbar zu machen, wurde versucht, die Trajektorien nach ihrem Austrittsort und den Wasserleitern, in denen sie einen signifikanten Anteil der horizontalen Wegstrecke durchlaufen haben, zu gruppieren und zu charakterisieren. Die Charakterisierung der Fliesswege nach Austrittsort und Ausbreitungsweg ist in den Tabellen 4-16 bis 4-25 enthalten.

Tabelle 4-26 enthält die Verteilung der Fließwegendpunkte nach geographischen Gebieten (Gebietseinteilung siehe Abb. 4-10)

In Tabelle 4-27 sind die Fließwege aufgeführt, die ins Quartär austreten und Laufzeiten von weniger als 1 Mio Jahre aufweisen.

In Tabelle 4-28 sind alle Laufzeiten der ins Quartär austretenden Fließwege zusammengestellt.

Tabelle 4-29 enthält eine Übersicht über die nicht in der Biosphäre endenden Fließwege.

#### 4.5.3 Diskussion der Fließwege

Die Fließwege folgen der allgemeinen Grundwasserströmung in nördlicher bis nordöstlicher Richtung und führen nur selten nach Osten gegen den Salzstock Thiede. Aufgrund der flachen und inhomogenen Potentialverteilung um das Grubengebäude verlaufen die Fließwege für den gleichen Rechenfall je nach Startpunkt recht unterschiedlich. Die dominanten Ausbreitungshorizonte sind Kimmeridge, Oxford und Cornbrash, vereinzelt auch die Plänerkalke und das Rhät.

Die Fließzeiten liegen im allgemeinen über 1 Mio Jahre, kürzere Zeiten von 0,3 bis 1 Mio Jahre treten nur im Rechenfall R02 (relativ durchlässiges Deckgebirge) und vereinzelt entlang der Störzone des Salzstockes Broistedt-Wendeburg-Rolfsbüttel auf. Obwohl der Cornbrash ein dominanter Grundwasserleiter mit einer hohen Durchlässigkeit ist und viele Trajektorien diesen durchlaufen, sind deren Fließzeiten nie kurz. Der Grund liegt darin, dass diese Trajektorien auch den undurchlässigen Dogger durchqueren müssen, was die Fließzeit wesentlich ansteigen lässt.

Im Referenzfall, im Fall R03 (Schichtenmodell), und in den Fällen R07 und R12 dominieren die Fließwege zum Austrittsgebiet Meine-Calberlah-Gifhorn. Im Rechenfall R02 (Schichtenmodell mit durchlässigem Deckgebirge) und in den Fällen mit erhöhter Durchlässigkeit im Bereich des Konrad-Grabens treten die Fließwege vermehrt um das Grubengebäude und nördlich davon, zwischen dem Konrad-Graben und der Überschiebung von Meine, zu Tage. Die Behinderung des Wasserflusses durch den Konrad-Graben im Fall R06 zwingt die Fließwege in die Störzone des Salzstockrandes Broistedt, während der Zufluss von zusätzlichem Grundwasser durch die Süd- und Ostgrenze in die tiefen Grundwasserleiter (Fälle R11 und R13) einen ähnlichen, wenn auch schwächeren Einfluss hat.

Bei der Betrachtung der Daten jener 15 Fliesswege, die das Quartär mit Laufzeiten von weniger als 1 Mio Jahre erreichen (siehe Tabelle 4-27) fällt folgendes auf:

Laufzeiten bis ins Quartär unter 1 Mio Jahre kommen lediglich in den Rechenfällen R02 (12 Fliesswege), R11 (2 Fliesswege) und R13 (1 Fliessweg) vor. Alle anderen Fliesswege weisen Laufzeiten bis ins Quartär von über 1 Mio Jahre auf.

Die Austrittstellen liegen für den Rechenfall R02 in den Zonen A und C (Umgebung Grube bis Meine, ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsbüttel), in den Rechenfällen R11 und R13 im Gebiet des Salzstockrandes (Zone D).

Ein signifikanter Horizontaltransport findet bei den Fliesswegen des Rechenfalles R02 im Oxford (4 Fliesswege), im Kimmeridge (2 Fliesswege) und in den Plänkalken (5 Fliesswege) statt oder der Horizontaltransport ist gering, d.h. die Fliesswege steigen steil nach oben und treten in der Umgebung des Grubengebietes aus (5 Fliesswege). In den 3 Fliesswegen der Rechenfälle R11 und R13 findet der Horizontaltransport hauptsächlich im Kimmeridge statt.

Keiner der erwähnten 15 Fliesswege verläuft im Cornbrash.

Aus diesen Beobachtungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Durchlässigkeit des Deckgebirges hat einen entscheidenden Einfluss auf den Verlauf der Fliesswege und auf die Laufzeiten.
- Einflüsse (wie z.B. die seitlichen Zuflüsse ins Rhät und in den Oberen Muschelkalk im Gebiet nördlich der Grube), die die Fliesswege nach Westen, d.h. gegen die Störzone des Salzstockes Broistedt drücken, haben Fliesswege mit relativ geringen Laufzeiten zur Folge. Dies ist zurückzuführen auf die geringere Mächtigkeit des Alb entlang dem Salzstockrand Broistedt-Rolfsbüttel und die erhöhte Durchlässigkeit der Störzone entlang dem Salzstockrand.

Die Fliesswegdaten des Rechenfalles R06 scheinen obiger Feststellung zu widersprechen, verlaufen doch die Fliesswege des erwähnten Rechenfalles in ausgeprägtem Masse dem Salzstockrand Broistedt-Rolfsbüttel entlang, ohne dass dies zu kurzen Laufzeiten Anlass gibt. Der Grund dafür liegt im ausgeprägten Potentialabbau in der im Rechenfall R06 gering durchlässigen Störzone Konrad-Graben (Multiplikationsfaktor 0.5).

- Der geringe Anteil von Fließwegen mit kurzen Laufzeiten jener Trajektorien, die zeitweilig im Cornbrash verlaufen, lässt den naheliegenden Schluss zu, dass die Attraktorwirkung des Cornbrash zu Fließwegen mit langen Laufzeiten Anlass gibt. In Rechenfällen mit einer weniger ausgeprägten Attraktorrolle des Cornbrash kommen kürzere Laufzeiten vor (Rechenfälle R11, R13 und sehr ausgeprägt R02).
- Schliesslich ist noch darauf hinzuweisen, dass die Startpunkte der angeführten 15 Fließwege im östlichen Teil des Südabschnittes des Grubengebäudes liegen.

#### 4.5.4 Betrachtung über die Fließwege im Oxford

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der SWIFT-Modellierung, in welcher ein dominanter Ausbreitungsweg "Oxford" resultierte, verbleibt im vorliegenden FE-Modell keine der berechneten Trajektorien bis zum Ausbiss des Oxfords bei Calberlah in diesem Wasserleiter. Hingegen gibt es vor allem im Rechenfall R03 mehrere Trajektorien, welche über weite Strecken im Oxford verlaufen.

Der vorzeitige Übertritt dieser Fließwege in die benachbarten Schichten (unten Liastonstein, oben Kimmeridge und Unterkreide) lässt sich auf die folgenden Gründe zurückführen:

##### 1) Geologie

Im Abflussgebiet nördlich des Konrad-Grabens wird das Oxford an drei Orten so stark versetzt, dass dessen Kontinuität teilweise unterbrochen wird:

- durch die Überschiebung von Meine (Störung  $e_1$ )
- durch die Störung  $r$ , ausgehend vom Salzstock Gifhorn
- durch den Graben von Gifhorn (Störungen  $p$  und  $q$ ).

Diese Störungen sperren den Oxford-Wasserleiter auf folgenden Anteilen der gesamten Aquiferbreite ab:

- Störung  $e_1$         25 %
- Störung  $r$          35 %
- Störung  $p, q$       90 %

##### 2) Potentiale und Wasserflüsse

Das Oxford weist im Rechenfall R03 durchwegs ein höheres Potential auf, als das darunterliegende Kimmeridge, während gegenüber den Aquitarden des Dogger im Liegenden nur im südlichen Abschnitt ein Überdruck herrscht (vgl. Anh. C3.1.2, C3.1.3).

Für das Oxford bedeutet dies, dass ein Abfluss nach oben im gesamten Modellbereich, nach unten nur im südlichen Abschnitt erfolgt, während nördlich der Überschiebung von Meine Wasser von unten zufließt. Werden diese Flüsse mit den schichtparallelen Flüssen in Beziehung gesetzt, so ergibt sich am Beispiel des Falles R03 folgende Bilanz: Der horizontale Oxford-Fluss durch den nördlich des Konrad-Grabens gelegenen Schnitt 5 beträgt rund  $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$  (6,6 l/min) und an der Ausbissfläche bei Calberlah exfiltrieren rund  $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  (2,1 l/min). Demgegenüber beträgt der vertikale Zufluss von unten im Gebiet nördlich der Überschiebung von Meine  $4,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  (2,7 l/min).

Diese Zahlen zeigen, dass das im Süden in das Oxford eintretende Wasser stark mit Zuflüssen durchmischt wird und aus dem Grundwasserleiter grösstenteils in die Deckschichten austritt, bevor es den Ausbiss Calberlah erreicht.

Für die Fliesswegberechnung bedeutet dies, dass die Trajektorien während ihres schichtparallelen Verlaufs das Oxford von unten nach oben durchqueren, wo sie in das Deckgebirge eintreten. (Das Programm TRACK rechnet ohne Dispersion und streng deterministisch, das heisst, die in Grundwasserleitern auftretenden stochastischen Fliessvorgänge der Dispersion oder Durchmischung werden nicht berücksichtigt.)

Wird konservativerweise angenommen, dass trotz der oben aufgeführten Gründe ein Fliessweg vom Grubengebäude bis zur Ausbisszone bei Calberlah durchwegs im Oxford verläuft, so lässt sich die Fliesszeit wie folgt abschätzen:

$$(k_f = 10^{-8} \text{ m/s}, \epsilon = 2 \% \text{ gemäss Referenzfall})$$

Potential im  
Grubengebäude  $h_1 = 107 \text{ m}$

Potential Ausbiss  
Calberlah:  $h_2 = 54 \text{ m}$

Fliessdistanz:  $d = 35 \text{ km}$

Hydraulischer  
Gradient:  $i = (h_2 - h_1)/d = -1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m/m}$

Fliessgeschwin-  
digkeit:  $v = -k_f \cdot i / \epsilon = 7,6 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$   
 $= 0,024 \text{ m/a}$

Fliesszeit:  $t = d/v = 1,5 \cdot 10^6 \text{ a}$

In den Rechenfällen R02 und R03 vermindert sich dieser Wert infolge der 10 Mal grösseren Oxforddurchlässigkeit auf  $1,5 \cdot 10^5$  a. Das Potential im Grubengebäude ist in beiden Fällen gleich und unterscheidet sich nur um 0,5 m vom Referenzfall.

## 5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

### 5.1 MODELLIERUNG

Die hydrogeologische Modellierung mit Hilfe eines Finite Element Modells ermöglicht prinzipiell die genaue Wiedergabe einer vorgegebenen Geometrie. Im vorliegenden Modell des potentiellen Endlagerstandortes Konrad ist diese Geometrie äusserst komplex, indem die massgebenden Wasserleiter in ihrer Ausdehnung, Tiefe und Mächtigkeit stark variieren und mit den dazwischengelagerten Wasserstauern komplizierte Strukturen bilden. Diese sind zudem an Störungen gegeneinander versetzt und an den zahlreichen Salzstockflanken hochgeschleppt.

Der Aufwand zur Erstellung eines derart komplexen Elementnetzes ist entsprechend gross und macht ausreichende und widerspruchsfreie Inputdaten sowie gewisse Vereinfachungen zur Modellgeometrie unabdingbar. Da bereits bei der Erarbeitung des Modellkonzeptes versucht werden muss, die Anzahl der Elemente nicht über das Notwendige hinaus anwachsen zu lassen, sind nachträgliche grundlegende Modifikationen am Elementnetz nur sehr schwer durchzuführen. Das realisierte FE-Modell besteht aus rund 6 000 Elementen und 21 000 Knoten.

Den FE-Modellrechnungen liegen dieselben Basisannahmen zugrunde wie den SWIFT-Rechnungen, d.h.

- zeitlich unveränderlicher Fluss in gesättigten Formationen
- Gültigkeit des Darcyschen Gesetzes auch bei kleinen Wassergeschwindigkeiten
- Behandlung der Kluftwasserleiter als äquivalentes poröses Medium
- Nichtberücksichtigung der Dichteunterschiede bewirkt durch Salinitäts- und Temperaturdifferenzen.

### 5.2 MODELLERGEBNISSE

Das Modellgebiet wird im wesentlichen von Süd nach Nord durchflossen. Im Süden liegen zusätzliche, lokal wirksame Exfiltrationsgebiete der tiefen Grundwasserleiter bei den Salzstöcken Flachstockheim und Thiede.

Die wichtigsten Zuflüsse ins Modellgebiet erfolgen über die Grundwasserleiter Hilssandstein, Rhät und Oberer Muschelkalk, welche in erhöhter Lage am Salzgitter Höhenzug ausbeissen. Die Grundwasserneubildungsrate in

der Ausbissfläche des Rhät vergleicht sich für alle Rechenfälle gut mit dem mittleren Jahresniederschlag (< 10 %, bezogen auf die Ausbissfläche).

Der Referenzwert der hydraulischen Durchlässigkeit des Hilssandsteins ergibt eine wesentlich zu hohe Infiltrationsrate. Dieser Umstand veranlasste die Durchführung eines zusätzlichen Rechenfalls mit einem entsprechend reduzierten  $k_f$ -Wert. Durch diese Reduktion der Hilssandstein-Durchlässigkeit werden die Resultate für den Wasserfluss durch das Grubengebäude und für die Wasserfliesswege nur unwesentlich verändert.

Die Grundwasserneubildungsraten in den Ausbissflächen des Oberen Muschelkalk und - selbst im zusätzlichen Rechenfall - des Hilssandstein sind hoch, was darauf hindeutet, dass die für die Modellierung verwendeten  $k_f$ -Werte dieser Wasserleiter zu hoch gewählt sind und die wirklichen Durchlässigkeiten geringer sein dürften. Eine überdurchschnittlich hohe Infiltrationsrate in die Ausbisse von steilstehenden Wasserleitern ist allerdings theoretisch vorstellbar, wenn man berücksichtigt, dass sich diese Ausbisse in hügeligem Gelände befinden, hangparallel verlaufen und durch breite Bänder von Aquitarden getrennt sind. Unter diesen Umständen kann in den Wasserleitern nicht nur das auf die Ausbisse auftreffende Niederschlagswasser versickern, sondern überdies noch Oberflächenwasser, welches von den undurchlässigen Aquitardenausbissen abfließt.

Im Gebiet des Grubengebäudes ist der Wasserfluss generell ebenfalls Süd-Nord gerichtet, wobei die komplizierte Geometrie und die hohen Durchlässigkeitskontraste des Konrad-Grabens und der begleitenden Stör- und Vergitterungszonen räumlich stark veränderliche Fliessrichtungen verursachen. Der Betrag des Wasserflusses wird wesentlich durch das Deckgebirge bestimmt. Die Potentialverteilung im Oxford, im darüberliegenden Kimmeridge und zum Teil auch im darunterliegenden Dogger ist äusserst flach.

Diese Umstände bewirken, dass der Verlauf der Fliesswege aus dem Grubengebäude selbst innerhalb eines Rechenfalles je nach Startpunkt sehr unterschiedlich sein kann. Zudem hängt er - bei vorgegebenem Startpunkt - teilweise empfindlich von einzelnen Parametern ab. Aus diesem Grunde wurden die Fliesswege für eine grosse Zahl von Startpunkten, welche über das Grubengebäude verteilt festgelegt sind, berechnet. Die Fliesswegberechnung zeigt die möglichen Ausbreitungswege mit den zugehörigen Freisetzungsbereichen und liefert den Bereich der entsprechenden Fliesszeiten.



Die Fliesswege verlaufen je nach Rechenfall in unterschiedlichen Grundwasserleitern, wobei sie von der allgemeinen Fliessrichtung Süd-Nord nur in Ausnahmefällen abweichen (Austrittspunkt Thiede in einigen Fällen, Fall R02 mit nahezu senkrechten Ausbreitungspfaden). Die Laufzeiten betragen im allgemeinen über 1 Mio Jahre. Kürzere Zeiten treten nur im Fall R02 als Folge der erhöhten Durchlässigkeit des Deckgebirges, sowie in den Fällen R11 und R13 vereinzelt entlang der Störzone längs des Salzstockes Broistedt-Wendeburg-Rolfsbüttel auf. Rein rechnerisch würde die Laufzeit einer Trajektorie, welche ausschliesslich im Oxford bis zum Ausbiss bei Calberlah verläuft, mit den Parametern des Referenzfalles rund 1.5 Mio Jahre betragen, bei einer erhöhten Durchlässigkeit des Oxfords entsprechend weniger.

Der Wasserfluss durch das Grubengebäude liegt für das Störzonenmodell zwischen 1 und 2 l/min, ungefähr ein Faktor 2 unter den entsprechenden SWIFT-Werten. Im Schichtenmodell sind die Durchflussraten mit 5 bzw. 2 l/min etwas höher und zeigen deutlich die abschirmende Wirkung des Deckgebirges.

Die durchgeführte Modellierung der tiefen Grundwasserströmung mit der Methode der Finiten Elemente berücksichtigt in guter Näherung die komplizierte Geometrie der Schichtung und der Störungen und zeigt den Einfluss der Störzonen. Die Modellergebnisse reflektieren im einzelnen die Komplexität der Verhältnisse, zeigen aber in ihrer Gesamtheit ein verständliches Muster. Die Fliesszeiten liegen für das Störzonenmodell zwischen jenen der beiden Schichtenmodell-Varianten. Fliesswege vom Grubengebäude zur Biosphäre mit Fliesszeiten unter 1 Million Jahre resultieren regelmässig nur bei einem durchlässigen Deckgebirge (Schichtenmodell, Fall R02). In den übrigen Modellvarianten liegen die Fliesszeiten mit wenigen Ausnahmen über 1 Million Jahre.

LITERATURVERZEICHNIS

- | Nr. | Autor            | Titel  |
|-----|------------------|--|
| 1   | BGR (1984)       | Hydrogeologie Konrad - erweiterter Bereich. Zwischenbericht 1984. - Unveröff. Bericht, Arch.Nr. 96603, Tb.Nr. 11269, 57 S., 25 Anl., 30.6.1984   |
| 2   | KIRALY L. (1985) | FEM 301 - A Three Dimensional Model for Groundwater Flow Simulation. - NAGRA, Technical Report 84-49   |
| 3   | BGR (1985)       | Geologische Auswertung reflexionsseismischer Messungen in der Umgebung der Schachtanlage Konrad, Salzgitter. - Unveröff. Bericht, Archiv-Nr. 98156, Tagebuch-Nr. 11156/83, 26 S., 15.6.1985  |
| 4   | BGR (1986)       | Hydrogeologie im Gebiet der Grube Konrad; Grundlagen der Modellrechnungen zur Langzeitsicherheit. - Unveröff. Ber., Archiv Nr. 99 131, Tb.Nr. 10 718/86, 32 S., 27 Anl., April 1986  |
| 5   | BGR (1986)       | Bohrung Konrad 101. Geologisches Profil. - 1 Plan, 29.8.1986   |
| 6   | PTB (1986)       | Plan, Endlager für radioaktive Abfälle, Schachtanlage Konrad, Salzgitter. Stand September 1986. - 164 S., 16 Abb., 4 Tab., 29 Pläne, September 1986  |
| 7   | GSF (1986)       | Langzeitsicherheitsanalyse des Endlagers Konrad. Radionuklidausbreitung in der Nachbetriebsphase. Text. - Unveröff. Ber., TA-Nr. 2242.03, 290 S., 2 Anhänge, Nov. 1986   |
| 8   | BGR (1987)       | Hydrogeologie im Gebiet der Grube Konrad. Erläuternde Stellungnahmen (Stand Juni 1987) zu Nachforderungen des NLFb (Schreiben des NLFb vom 9.4.1987). - Unveröff. Bericht, Archiv-Nr. 101 314, Tageb.-Nr. 12 395/87, 19 S., 6 Anl., 3 Pl., 26.6.1987 |
| 9   | BGR (1987)       | Stellungnahme betr. Langzeitsicherheit Konrad. Alternativen zu dem im Plan Konrad beschriebenen Modell. - Unveröff. Ber., B 2.22, 14 S., 2 Anl., 50 Profile, 7.8.1987  |
| 10  | BGR (1987)       | Projekt Endlager Konrad; ergänzende Unterlagen zur Stellungnahme vom 07.08.87 bezüglich alternativem Modell. - Brief, 3 S., 8.9.1987   |
| 11  | BGR (1987)       | Tiefenlinienplan Basis Alb (Nord- und Südgebiet), 1:50 000. Abb. 28 und 29. - 2 Pläne, 8.9.1987  |

LITERATURVERZEICHNIS

Nr.	Autor	Titel
12	GSF (1987)	Stellungnahme zum Vergleich von Grundwasserneubildungsraten des NLFb. - 2 S., 20.9.1987
13	PTB (1987)	Grubengebäude, Abstand Basis Oxford/Top Cornbrash. - Brief, 1 S., 23.9.1987
14	NLFb (1987)	Eingabedaten für das Strömungsmodell SWIFT: Vergleich von Grundwasserneubildungsraten. - Anlagen 1 und 2 zu N 3.2-6134/87, 3 S., ohne Datum
15	BGR (1987)	Langzeitsicherheit Konrad; Alternatives Modell. Stellungnahme zur Begutachtung des NLFb (Zeichen N 3.1 - 6768/87 und N 3.2 - 6768/87 vom 31.8.87). - 4 S., Tgb.Nr. 13 207/87, 01.10.1987
16	PTB (1987)	Brief betr. Reproduktion der Grundwasserneubildungsraten durch FEM-Modell. - 1 S., 22.10.1987
17	DBE (1987)	Eisenerzbergwerk Konrad. Abbaugrundriss (Übersichtsriss), 1:2000. - Letzte Ergänzung 12/87
18	BGR (1987)	Schnitte 1, 1a und 2 durch die Schächte Konrad 1 und 2 und die Bohrungen Bleckenstedt 1, 2 und 4. - 3 Pläne, letzte Ergänzung 12/87
19	BGR (1988)	Tiefenlinienpläne Anl. 1 bis 6, 10 bis 15 und 29 mit Störungszonen a bis e, i, k, h und v. - 8.1.1988
20	PTB (1988)	Aufstellung der Teile des Grubengebäudes, die im Dogger stehen. - Brief, 2 S., 6 Pläne 20.1.1988
21	BGR (1988)	Überarbeitete Tiefenlinienpläne Oberer Muschelkalk, Rhät und Unterkreide für den Bereich des Salzstocks Thiede. - Brief 1 S., 5 Anl., 21.1.1988
22	DBE (1988)	Übersichtsriss Grubengebäude 1:2000. - 1 Plan, Stand 01/88
23	BGR (1988)	Umhüllende Grubengebäude für Modellrechnungen Motor-Columbus. - Brief, 2 S., 2 Anl. 09.02.1988
24	PTB (1988)	Ergebnis-Protokoll der Sitzung vom 08.1.1988. - 7 S., 19.2.1988
25	PTB (1988)	Störungszone der Salzstockflanke Flachstökheim. - Brief, 1 S., 22.02.1988
26	BGR (1988)	Geologische Modifikationen am Salzstock Flachstökheim. - Fernmündliche Mitteilung von Dr. Klinge, 11.03.1988

LITERATURVERZEICHNIS

Nr.	Autor	Titel
27	PTB (1988)	Koordinaten des Modellgebietes. - Brief, 2 S., 2 Pläne, 30.3.1988
28	BGR (1988)	Definitive Schnitte durch das Modellgebiet. - 60 Schnitte, 19.4.1988
29	BGR (1988)	Berichtigte Koordinaten des Modellgebietes, Durchmesser der Schächte Konrad 1 und 2. - Brief, 2 S., 26.4.1988
30	PTB (1988)	Doggeraufschlüsse im Grubengebäude mit Querschnitten, Querschnitt der Nordstrecke, korrigierte Koordinaten der Eckpunkte des SWIFT-Modellgebietes. - Brief, 2 S. 1 Plan, 11.5.1988
31	PTB (1988)	Ergebnisprotokoll der Sitzung vom 19.4.1988. - 9 S., 4.7.1988
32	PTB (1988)	Porosität und Durchlässigkeit Grubengebäude, Modellierung Schacht Konrad. - Brief, 2 S., 1 Anh., 20.7.1988
33	BGR (1988)	Vorgaben für Flüsse am Modellrand. - 1 S., 3.8.1988
34	GSF (1988)	Modellrechnung zur Grundwasserbewegung mit dem Programm SWIFT für ein alternatives hydrogeologisches Modell für das Endlager Konrad. - 22 S., 16 Tab., 13 Abb., 1 Anh., August 1988
35	BGR (1988)	Hydrogeologie im Gebiet der Grube Konrad. Grundlagen der Modellrechnungen für ein alternatives hydrogeologisches Modell zur Langzeitsicherheit. - Unveröff. Bericht, Archiv-Nr. 103 265, Tagebuch-Nr. 11 918/88, 14 S., 1 Anh., 18 Anl., August 1988
36	BGR (1988)	Hydraulische Kennwerte im Gebiet der Grube Konrad. - Unveröff. Bericht, Archiv-Nr. 103 690, Tagebuch-Nr. 11 722/88, 20 S., 7 Tab., August 1988
37	ETH (1988)	Particle Tracking - advektiver Transport im Grundwasser. Theorie und Codebeschreibung des Programmes TRACK. - ETH-Zürich, Entwurf
38	NEA/SKI (1988)	The International HYDROCOIN Project. Level 1: Code Verification. - 118 S., Nuclear Energy Agency (NEA) and Swedish Nuclear Power Inspectorate (SKI), OECD, Paris

LITERATURVERZEICHNIS

Nr.	Autor	Titel
39	SKI (1984-1987)	HYDROCOIN, Progress Reports No 1 - 6. - Swedish Nuclear Power Inspectorate (SKI), Stockholm, 1985/1988

LITERATURVERZEICHNIS

TOPOGRAPHISCHE UND GEOLOGISCHE KARTEN

Topographische Karten 1 : 50 000

Blatt L 3528, Gifhorn

Blatt L 3530, Wolfsburg

Blatt L 3726, Peine

Blatt L 3728, Bad Braunschweig

Blatt L 3926, Bad Salzdetfurth

Blatt L 3928, Salzgitter

Geologische Wanderkarte 1 : 100 000, Braunschweiger Land.  
- LOOK E.R. et al. (1984). Herausg. Stadt Königslutter,  
Nat.hist. Ges. Hann., NlfB

VERZEICHNIS DER TABELLEN

- 1-1 Schichtenfolge im Modellgebiet
- 2-1 Modellierung SWIFT 1985/1986 (Schichtenmodell):  
Überblick über Parametervariationen
- 3-1 Basisvorgaben PTB: Durchlässigkeitsbeiwerte und  
effektive Porositäten
- 3-2 Basisvorgaben PTB: Hydrogeologische Schnitte und  
Tiefenlinienpläne
- 3-3 Basisvorgaben PTB: Definition der Geometrie der  
Schichteinheiten und des Grundwasserspiegels
- 3-4 Bezeichnung der Störungen und Störzonen
- 4-1 Parameter der Rechenfälle
- 4-2 Rechenfälle R04 bis R06, Störzonenmodell: Multi-  
plikationsfaktoren in der Störzone Konrad-Graben  
und in den Vergitterungszonen
- 4-3 Rechenfälle R02 und R03, Schichtenmodell: Para-  
meterunterschiede zum Referenzfall R01
- 4-4 Rechenfälle R01, R11, R12: Flüsse durch den  
Schnitt 1
- 4-5 Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13: Durchfluss  
durch das Grubengebäude
- Trajektorien
- 4-6 Rechenfall R01 (Referenzfall)
- 4-7 Rechenfall R02
- 4-8 Rechenfall R03
- 4-9 Rechenfall R04
- 4-10 Rechenfall R05
- 4-11 Rechenfall R06
- 4-12 Rechenfall R07
- 4-13 Rechenfall R11
- 4-14 Rechenfall R12
- 4-15 Rechenfall R13
- Charakterisierung der Fließwege
- 4-16 Rechenfall R01 (Referenzfall)
- 4-17 Rechenfall R02
- 4-18 Rechenfall R03
- 4-19 Rechenfall R04
- 4-20 Rechenfall R05
- 4-21 Rechenfall R06
- 4-22 Rechenfall R07
- 4-23 Rechenfall R11
- 4-24 Rechenfall R12
- 4-25 Rechenfall R13

- 4-26        Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13: Anzahl der  
              Fließwege mit Endpunkten in den Gebiet A bis E
- 4-27        Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13: Ins Quartär  
              austretende Fließwege mit Laufzeiten unter 1 Mio.  
              Jahre
- 4-28        Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13: Laufzeiten  
              der ins Quartär austretenden Fließwege in Mio.  
              Jahren
- 4-29        Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13: Nicht in der  
              Biosphäre endende Fließwege



VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

- 1-1 Übersicht über das Grubengebäude
- 2-1 Darstellung des Untersuchungsgebietes und des Oberflächen-Elementnetzes der SWIFT-Modellierung
- 3-1 Modellgebiet mit Koordinaten der Eckpunkte und Lage der geologischen Profile BGR
- 3-2 Elementnetz mit Lage der Störungen und Störzonen, des Grubengebäudes und der Salzstöcke
- 3-3 Elementnetz mit Lage der Modellschnitte
- 3-4 Flussdiagramm der hydrodynamischen Modellierung
- 4-1 Elementnetz mit Lage der Vertikalprofile der hydraulischen Potentiale
- Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13: Hydraulisches Potential als Funktion der Tiefe
- 4-2 Vertikalprofil am Ort 725
- 4-3 Vertikalprofil am Ort 747
- 4-4 Vertikalprofil am Ort 933
- 4-5 Vertikalprofil am Ort 965
- 4-6 Vertikalprofil am Ort 1464
- 4-7 Vertikalprofil am Ort 1499
- 4-8 Vertikalprofil am Ort 1515
- 4-9 Grubengebäude mit Startpunkten der Fliesswege
- 4-10 Gebietseinteilung zur Charakterisierung der Endpunkte der Fliesswege
- 4-11 Folie mit Geographie (Massstab wie Grundrisse der Fliesswege, Anhang C)

VERZEICHNIS DER ANHÄNGE

**ANHANG A: HYDROGEOLOGISCHE SCHNITTE**

Hydrogeologische Schnitte  
y=1 bis y=30  
x=1S bis x=15S  
x=1N bis x=15N

**ANHANG B: MODELLGEOMETRIE**

	Modellschnitte mit hydrogeologischen Schicht- einheiten und Störzonen
B1	Schnitt 1
B2	Schnitt 2
B3	Schnitt 3
B4	Schnitt 4
B5	Schnitt 5
B6	Schnitt 6
B7	Schnitt 7
B8	Schnitt 8
B9	Schnitt 9
B10	Schnitt 10
B11	Schnitt 12
B12	Schnitt 13
B13	Schnitt 14
B14	Schnitt 15
B15	Schnitt 16
B16	Schnitt 17
B17	Schnitt 18
B18	Schnitt 19

ANHANG C: RESULTATE

- 1                    **Rechenfall R01**
  
- 1.1                Potentiale, Schnitte
- 1.1.1            Schnitt 1
- 1.1.2            Schnitt 2
- 1.1.3            Schnitt 3
- 1.1.4            Schnitt 4
- 1.1.5            Schnitt 5
- 1.1.6            Schnitt 6
- 1.1.7            Schnitt 7
- 1.1.8            Schnitt 8-9
- 1.1.9            Schnitt 10
- 1.1.10           Schnitt 12
- 1.1.11           Schnitt 13
- 1.1.12           Schnitt 14
  
- 1.2                Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 1.2.1            Basis Oberer Muschelkalk
- 1.2.2            Basis Rhät
- 1.2.3            Basis Cornbrash-Sandstein
- 1.2.4            Basis Oxford
- 1.2.5            Basis Unterkreide
- 1.2.6            Basis Hilssandstein
  
- 1.3                Fliesswege
- 1.3.1            Grundriss
- 1.3.2            Aufriss
- 1.3.3            Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen  
                  Massstab)
  
- 1.4                Flüsse durch die Quartär-Basis
- 1.4.1            Südabschnitt; alle Schichteinheiten
- 1.4.2            Salzgitter Höhenzug; Oberer Muschelkalk, Rhät,  
                  Hilssandstein und Plänerkalke
  
- 1.5                Flüsse durch die Wasserleiter von Schnitten
- 1.5.1            Schnitt 1
  
- 1.6                Vektoren der Filtergeschwindigkeit
- 1.6.1            Schnitt 8-9-10
- 1.6.2            Oberfläche des Cornbrash-Sandsteins
- 1.6.3            Oberfläche des Oxford
- 1.6.4            Oberfläche des Kimmeridge

- 2                    **Rechenfall R02**
  
- 2.1                Potentiale, Schnitte
- 2.1.1            Schnitt 1
- 2.1.2            Schnitt 2
- 2.1.3            Schnitt 3
- 2.1.4            Schnitt 4
- 2.1.5            Schnitt 5
- 2.1.6            Schnitt 6
- 2.1.7            Schnitt 7
- 2.1.8            Schnitt 8-9
- 2.1.9            Schnitt 10
- 2.1.10           Schnitt 12
- 2.1.11           Schnitt 13
- 2.1.12           Schnitt 14
  
- 2.2                Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 2.2.1            Basis Oberer Muschelkalk
- 2.2.2            Basis Rhät
- 2.2.3            Basis Cornbrash-Sandstein
- 2.2.4            Basis Oxford
- 2.2.5            Basis Unterkreide
- 2.2.6            Basis Hilssandstein
  
- 2.3                Potentialunterschiede R02-R01, Schnitte
- 2.3.1            Schnitt 4
- 2.3.2            Schnitt 8-9
- 2.3.3            Schnitt 10
  
- 2.4                Potentialunterschiede R02-R01, Basisflächen von Schichteinheiten
- 2.4.1            Basis Oberer Muschelkalk
- 2.4.2            Basis Rhät
- 2.4.3            Basis Cornbrash-Sandstein
- 2.4.4            Basis Oxford
- 2.4.5            Basis Unterkreide
- 2.4.6            Basis Hilssandstein
  
- 2.5                Fliesswege
- 2.5.1            Grundriss
- 2.5.2            Aufriss
- 2.5.3            Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)

- 3                    **Rechenfall R03**
- 3.1                Potentiale, Schnitte
- 3.1.1             Schnitt 4
- 3.1.2             Schnitt 8-9
- 3.1.3             Schnitt 10
- 3.1.4             Schnitt 12
  
- 3.2                Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 3.2.1             Basis Cornbrash-Sandstein
- 3.2.2             Basis Oxford
- 3.2.3             Basis Unterkreide
  
- 3.3                Potentialunterschiede R03-R01, Schnitte
- 3.3.1             Schnitt 4
- 3.3.2             Schnitt 8-9
- 3.3.3             Schnitt 10
  
- 3.4                Potentialunterschiede R03-R01, Basisflächen von Schichteinheiten
- 3.4.1             Basis Oberer Muschelkalk
- 3.4.2             Basis Rhät
- 3.4.3             Basis Cornbrash-Sandstein
- 3.4.4             Basis Oxford
- 3.4.5             Basis Unterkreide
- 3.4.6             Basis Hilssandstein
  
- 3.5                Fliesswege
- 3.5.1             Grundriss
- 3.5.2             Aufriss
- 3.5.3             Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)

- 4                    **Rechenfall R04**
- 4.1                Potentiale, Schnitte
- 4.1.1             Schnitt 4
- 4.1.2             Schnitt 8-9
- 4.1.3             Schnitt 12
- 4.2                Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 4.2.1             Basis Cornbrash-Sandstein
- 4.2.2             Basis Oxford
- 4.2.3             Basis Unterkreide
- 4.3                Potentialunterschiede R04-R01, Schnitte
- 4.3.1             Schnitt 4
- 4.3.2             Schnitt 5
- 4.3.3             Schnitt 8-9
- 4.4                Potentialunterschiede R04-R01, Basisflächen von Schichteinheiten
- 4.4.1             Basis Oberer Muschelkalk
- 4.4.2             Basis Rhät
- 4.4.3             Basis Cornbrash-Sandstein
- 4.4.4             Basis Oxford
- 4.4.5             Basis Unterkreide
- 4.4.6             Basis Hilssandstein
- 4.5                Fließwege
- 4.5.1             Grundriss
- 4.5.2             Aufriss
- 4.5.3             Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)

- 15            **Rechenfall R05**
- 5.1            Potentiale, Schnitte
- 5.1.1        Schnitt 4
- 5.1.2        Schnitt 8-9
- 5.1.3        Schnitt 12
- 5.2            Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 5.2.1        Basis Cornbrash-Sandstein
- 5.2.2        Basis Oxford
- 5.2.3        Basis Unterkreide
- 5.3            Potentialunterschiede R05-R01, Schnitte
- 5.3.1        Schnitt 4
- 5.3.2        Schnitt 5
- 5.3.3        Schnitt 8-9
- 5.4            Potentialunterschiede R05-R01, Basisflächen von Schichteinheiten
- 5.4.1        Basis Oberer Muschelkalk
- 5.4.2        Basis Rhät
- 5.4.3        Basis Cornbrash-Sandstein
- 5.4.4        Basis Oxford
- 5.4.5        Basis Unterkreide
- 5.4.6        Basis Hilssandstein
- 5.5            Fliesswege
- 5.5.1        Grundriss
- 5.5.2        Aufriss
- 5.5.3        Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)

6	<b>Rechenfall R06</b>
6.1	<u>Potentiale, Schnitte</u>
6.1.1	Schnitt 4
6.1.2	Schnitt 8-9
6.1.3	Schnitt 12
6.2	<u>Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten</u>
6.2.1	Basis Cornbrash-Sandstein
6.2.2	Basis Oxford
6.2.3	Basis Unterkreide
6.3	<u>Potentialunterschiede R06-R01, Schnitte</u>
6.3.1	Schnitt 4
6.3.2	Schnitt 5
6.3.3	Schnitt 8-9
6.4	<u>Potentialunterschiede R06-R01, Basisflächen von Schichteinheiten</u>
6.4.1	Basis Oberer Muschelkalk
6.4.2	Basis Rhät
6.4.3	Basis Cornbrash-Sandstein
6.4.4	Basis Oxford
6.4.5	Basis Unterkreide
6.4.6	Basis Hilssandstein
6.5	<u>Fliesswege</u>
6.5.1	Grundriss
6.5.2	Aufriss
6.5.3	Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)



- 7                    **Rechenfall R07**
  
- 7.1                Potentialunterschiede R07-R01, Schnitte
- 7.1.1             Schnitt 8-9
- 7.1.2             Schnitt 8-9, Ausschnitt Nordstrecke
- 7.1.3             Schnitt 8-9, Ausschnitt Nordstrecke
- 7.1.4             Schnitt 4
- 7.1.5             Schnitt 4, Ausschnitt Schacht Konrad 2  
                    (Doggerstrecke)
  
- 7.2                Fliesswege
- 7.2.1             Grundriss
- 7.2.2             Aufriss
- 7.2.3             Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen  
                    Massstab)

- 11            **Rechenfall R11**
  
- 11.1            Potentiale, Schnitte
- 11.1.1        Schnitt 4
- 11.1.2        Schnitt 8-9
- 11.1.3        Schnitt 12
- 11.1.4        Schnitt 15
- 11.1.5        Schnitt 16
- 11.1.6        Schnitt 17
  
- 11.2            Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 11.2.1        Basis Oberer Muschelkalk
- 11.2.2        Basis Rhät
- 11.2.3        Basis Cornbrash-Sandstein
- 11.2.4        Basis Oxford
- 11.2.5        Basis Unterkreide
- 11.2.6        Basis Hilssandstein
  
- 11.3            Potentialunterschiede R11-R01, Schnitte
- 11.3.1        Schnitt 4
- 11.3.2        Schnitt 5
- 11.3.3        Schnitt 8-9
- 11.3.4        Schnitt 15
- 11.3.5        Schnitt 16
- 11.3.6        Schnitt 17
  
- 11.4            Potentialunterschiede R11-R01, Basisflächen von Schichteinheiten
- 11.4.1        Basis Oberer Muschelkalk
- 11.4.2        Basis Rhät
- 11.4.3        Basis Cornbrash-Sandstein
- 11.4.4        Basis Oxford
- 11.4.5        Basis Unterkreide
- 11.4.6        Basis Hilssandstein
  
- 11.5            Fliesswege
- 11.5.1        Grundriss
- 11.5.2        Aufriss
- 11.5.3        Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)
  
- 11.6            Flüsse durch die Wasserleiter von Schnitten
- 11.6.1        Schnitt 1
  
- 11.7            Vektoren der Filtergeschwindigkeit
- 11.7.1        Schnitt 8-9-10
- 11.7.2        Oberfläche des Cornbrash-Sandsteins
- 11.7.3        Oberfläche des Oxford
- 11.7.4        Oberfläche des Kimmeridge

12	<b>Rechenfall R12</b>
12.1	<u>Potentiale, Schnitte</u>
12.1.1	Schnitt 1
12.1.2	Schnitt 3
12.1.3	Schnitt 4
12.1.4	Schnitt 5
12.1.5	Schnitt 8-9
12.1.6	Schnitt 12
12.1.7	Schnitt 13
12.2	<u>Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten</u>
12.2.1	Basis Oberer Muschelkalk
12.2.2	Basis Rhät
12.2.3	Basis Cornbrash-Sandstein
12.2.4	Basis Oxford
12.2.5	Basis Unterkreide
12.2.6	Basis Hilssandstein
12.3	<u>Potentialunterschiede R12-R01, Schnitte</u>
12.3.1	Schnitt 1
12.3.2	Schnitt 3
12.3.3	Schnitt 4
12.3.4	Schnitt 5
12.3.5	Schnitt 8-9
12.3.6	Schnitt 12
12.3.7,	Schnitt 13
12.4	<u>Potentialunterschiede R12-R01, Basisflächen von Schichteinheiten</u>
12.4.1	Basis Oberer Muschelkalk
12.4.2	Basis Rhät
12.4.3	Basis Cornbrash-Sandstein
12.4.4	Basis Oxford
12.4.5	Basis Unterkreide
12.4.6	Basis Hilssandstein
12.5	<u>Fliesswege</u>
12.5.1	Grundriss
12.5.2	Aufriss
12.5.3	Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)
12.6	<u>Flüsse durch die Wasserleiter von Schnitten</u>
12.6.1	Schnitt 1

- 13            **Rechenfall R13**
- 13.1        Potentiale, Schnitte
- 13.1.1      Schnitt 17
- 13.2        Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 13.2.1      Basis Oberer Muschelkalk
- 13.2.2      Basis Rhät
- 13.3        Potentialunterschiede R11-R13, Schnitte
- 13.3.1      Schnitt 15
- 13.3.2      Schnitt 16
- 13.3.3      Schnitt 17
- 13.4        Potentialunterschiede R11-R13, Basisflächen von Schichteinheiten
- 13.4.1      Basis Oberer Muschelkalk
- 13.4.2      Basis Rhät
- 13.4.3      Basis Cornbrash-Sandstein
- 13.4.4      Basis Oxford
- 13.5        Fliesswege
- 13.5.1      Grundriss
- 13.5.2      Aufriss
- 13.5.3      Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Masstab)

**MOTOR COLUMBUS INGENIEURUNTERNEHMUNG AG  
BADEN/SCHWEIZ**

KONRAD  
EU  
210

**SCHACHTANLAGE KONRAD, SALZGITTER**  
**Modellrechnungen mit dem Programm FEM301**  
**für ein alternatives**  
**geologisches/hydrogeologisches Modell**  
**Auftrags-Nr. 9K 352126.39**

**SCHLUSSBERICHT**  
**Band II: Tabellen und Abbildungen**

15. November 1988

Der Bericht wurde im Auftrag der PHYSIKALISCH TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.



















Rechenfälle Bezeichnung der Falle	R01 Referenzfall	R02 SWIFT 1986 Var. 1	R03 SWIFT 1986 Var. 2	R04 SWIFT 1988 Var. 1	R05 SWIFT 1988 Var. 2	R06 SWIFT 1988 Var. 3	R07 Referenzfall (ohne Nord- und Doggerstrecke)	R11 Referenzfall mit vorgegebenen Flüssen am Modellrand	R12 Referenzfall mit geänderter Durchlässigkeit d. Hilssandsteins	R13 Referenzfall mit vorgegebenen Flüssen am Modellrand
--------------------------------------	---------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	--	---	---	---

1. DURCHLASSIGKEITEN

K- Klasse bez.	Kurz- bezeichnung	Effektive Porosität %	Durchlässigkeit												
			m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s			
10	q	Quartär	25	1E-5	x (1)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
20	t	Tertiar	25	1E-7	1E-5	1E-5	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30	E	Emscher Mergel	20	1E-8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
40	kro-N	Plänerkalke, Nordabschnitt	5	1E-6	1E-7	1E-7	x	x	x	x	x	x	x	x	x
140	kro-S	Plänerkalke, Südabschnitt	5	1E-7	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
50	alb	Alb	10	1E-12	1E-10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
60	Hl	Hilssandstein	25	1E-5	x	x	x	x	x	x	x	x	1E-6	x	x
70	kru	Unterkreide	10	1E-11	1E-10	1E-12	x	x	x	x	x	x	x	x	x
80	jo	Kimmeridge	10	5E-9	1E-8	1E-8	x	x	x	x	x	x	x	x	x
90	ox	Oxford	2	1E-8	1E-7	1E-7	x	x	x	x	x	x	x	x	x
160		Grubengebäude	10	1E-4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
200	D	Doggeronsteine	10	1E-10, 1E-12 (2)	1E-10	1E-10	x	x	x	x	x	x	x	x	x
100	C-N	Cornbrash-Sandstein, Nordabschnitt	5	1E-6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
130	C-S	Cornbrash-Sandstein, Südabschnitt	5	1E-7	1E-6	1E-6	x	x	x	x	x	x	x	x	x
400	L	Liastonsteine	10	1E-10, 1E-12 (2)	1E-10	1E-10	x	x	x	x	x	x	x	x	x
110	ko	Rhat	20	1E-7	1E-6	1E-6	x	x	x	x	x	x	x	x	x
600	K	Keupertonsteine	10	1E-10, 1E-12 (2)	1E-10	1E-10	x	x	x	x	x	x	x	x	x
120	mo	Oberer Muschelkalk	2	1E-7	1E-6	1E-6	x	x	x	x	x	x	x	x	x
170	Z	Salzstöcke	10	1E-15	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

2. MULTIPLIKATIONSFAKTOREN

K- Index	Kurz- bezeichnung	Faktoren, um den die Durchlässigkeiten der Schichteinheiten im Wirkungsbereich der Störungszonen vergrößert werden (mit Ausnahme von Alb, Hilssandstein und Rhät)													
1	a	Immendorfer Störung	50	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	b(b)	Salzstockflanke Broistedt-Vechelde- Rolfsbüttel-Wendeburg	25	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	b(t)	Salzstockflanke Thiede	25	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3	b(f)	Salzstockflanke Flachstöckheim	25	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
4	c	Konrad-Graben	10	1	1	x	20	0.5	x	x	x	x	x	x	x
6	d	Störungen südlich des Konrad-Grabens	10	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
5	e	Ueberschiebung von Meine	50	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7	#	Vergitterungszonen beiderseits des Konrad-Grabens	60	1	1	500	500	0.5	x	x	x	x	x	x	x
8	h	Störungszone Salzgitter Höhenzug	25	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9	i,k	Störungszonen nördlich an jene des Salzgitter Höhenzuges anschliessend	25	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
K-Klasse															
150	g	Lokale Verkarstung im obersten Ober- jura	10	10	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tab. 4-1  
Parameter der Rechenfälle

Rechenfälle	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R11	R12	R13		
Bezeichnung der Fälle	Referenzfall	SWIFT 1986 Var. 1	SWIFT 1986 Var. 2	SWIFT 1988 Var. 1	SWIFT 1988 Var. 2	SWIFT 1988 Var. 3	Referenzfall (ohne Nord- und Doggerstrecke)	Referenzfall mit vorgegebenen Flüssen am Modellrand	Referenzfall mit geänderter Durchlässigkeit d. Hilssandsteins	Referenzfall mit vorgegebenen Flüssen am Modellrand		
<b>3. 1D-TRANSMISSIVITÄTEN</b>												
	Effektive Porosität %	1D-Transmissivität m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s		
180	Nordstrecke	10	1E-3	x	x	x	x	x	wie Nebengest.	x	x	x
	Schächte Konrad 1 und 2		wie Nebengestein	x	x	x	x	x	x	x	x	x
190	Schacht Konrad 2, Doggerstrecke D (3)	10	1E-2	x	x	x	x	x	wie Nebengest.	x	x	x
<b>4. RANDBEDINGUNGEN</b>												
Flüsse an den Seitenflächen und am Modellboden	Abschnittslänge	Darcy-Fluss m/s	Darcy-Fluss m/s	Darcy-Fluss m/s	Darcy-Fluss m/s	Darcy-Fluss m/s	Darcy-Fluss m/s	Darcy-Fluss m/s	Darcy-Fluss m/s	Darcy-Fluss m/s	Darcy-Fluss m/s	
<b>a) Südlicher Modellrand</b>												
Salzgitter Höhenzug		no flow	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Zwischen Salzgitter-Höhenzug und Flachstöckheim												
- Muschelkalk	4.0 km	no flow	x	x	x	x	x	x	1.25E-9	x	1.25E-9	
- Rhät	3.8 km	no flow	x	x	x	x	x	x	9.0E-10	x	9.0E-10	
Zwischen Flachstöckheim und SE-Modellecke												
- Muschelkalk	4.3 km	no flow	x	x	x	x	x	x	1.2E-9	x	1.2E-9	
- Rhät	4.7 km	no flow	x	x	x	x	x	x	9.0E-10	x	9.0E-10	
<b>b) Östlicher Modellrand</b>												
Von SE-Modellecke nach Norden												
- Muschelkalk	9.7 km	no flow	x	x	x	x	x	x	5.6E-10	x	5.6E-10	
- Rhät	14.0 km	no flow	x	x	x	x	x	x	3.0E-10	x	3.0E-10	
Von Bechtstüttel nach Norden												
- Muschelkalk	10.0 km	no flow	x	x	x	x	x	x	3.0E-10	x	x	
- Rhät	9.5 km	no flow	x	x	x	x	x	x	9.0E-11	x	x	
<b>c) nördlicher Modellrand</b>												
		no flow	x	x	x	x	x	x	no flow	x	x	
<b>d) westlicher Modellrand</b>												
		no flow	x	x	x	x	x	x	no flow	x	x	
<b>e) Modellboden</b>												
		no flow	x	x	x	x	x	x	no flow	x	x	
Bergwasserspiegel im Salzgitter-Höhenzug		Terrainoberfläche	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Grundwasserspiegel im übrigen Modell-Gebiet		Grundwassergleichen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Potential im Grubengebäude		gemäss Modellrechnung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<b>5. ERLÄUTERUNGEN</b>												
(1)	x = Wert des Referenzfalles											
(2)	Wenn zwei Durchlässigkeitswerte angeführt sind, so steht der erste Wert für die schichtparallele, der zweite Wert für die schichtnormale Durchlässigkeit											
(3)	Die Doggerstrecken A, B und C sind nicht modelliert. Die Doggerstrecke D wird angenähert durch ein von der Basis des Grubengebäudes bis zum Cornbrash-Sandstein reichendes 1D-Element entlang dem Schacht Konrad 2											

	R01	R04	R05	R06
Konrad-Graben	10	10	20	0.5
Vergitterungszonen	60	500	500	0.5

Tabelle 4-2  
Rechenfälle R04 bis R06, Störzonenmodell:  
Multiplikationsfaktoren in der Störzone  
Konrad-Graben und in den Vergitterungszonen



	R01 Referenzfall	R02 SWIFT 1986 Var. 1	R03 SWIFT 1986 Var. 2
<b>a) Störzonen</b>			
Multiplikations- faktoren	div.	1	1
<b>b) Durchlässigkeiten Schichteinheiten</b>			
Tertiär	$10^{-7}$ m/s	$10^{-5}$ m/s	$10^{-5}$ m/s
Alb	$10^{-12}$ m/s	$10^{-10}$ m/s	$10^{-12}$ m/s
Unterkreide	$10^{-11}$ m/s	$10^{-10}$ m/s	$10^{-12}$ m/s
Kimmeridge	$5 \cdot 10^{-9}$ m/s	$10^{-8}$ m/s	$10^{-8}$ m/s
Oxford	$10^{-8}$ m/s	$10^{-7}$ m/s	$10^{-7}$ m/s
Dogger-, Lias- und Keuper-Tonsteine	$10^{-10}$ m/s    Sch. $10^{-12}$ m/s ⊥ Sch.	$10^{-10}$ m/s	$10^{-10}$ m/s
Cornbrash-Sst. (Süd- abschnitt), Rhät und Oberer Muschelkalk	$10^{-7}$ m/s	$10^{-6}$ m/s	$10^{-6}$ m/s
<b>c) Grubengebäude, Strecken, Schächte</b>			
Grubengebäude: Durchlässigkeit Porosität	$10^{-4}$ m/s 5 %	wie Neben- gestein	wie Neben- gestein
Nordstrecke: 1D-Transmissivität Porosität	$10^{-3}$ m <sup>3</sup> /s 5 %	wie Neben- gestein	wie Neben- gestein
Schacht Konrad 2 (= Doggerstrecke D): 1D-Transmissivität Porosität	$10^{-2}$ m <sup>3</sup> /s 5 %	wie Neben- gestein	wie Neben- gestein

Tabelle 4-3  
Rechenfälle R02 und R03, Schichtenmodell:  
Parameterunterschiede zum Referenzfall R01

Schichteinheit	Richtung N [l/min]	Richtung S [l/min]	Bilanz [l/min]	Aenderung
<b>RECHENFALL R01</b>				
Hilssandstein	1700	-200	1500	
Rhät	40		40	
Oberer Muschelkalk	250		250	
<b>TOTAL</b>	<b>2000</b>	<b>-200</b>	<b>1800</b>	
<b>RECHENFALL R11</b>				
Hilssandstein	1700	-200	1500	
Rhät	20	-2	18	
Oberer Muschelkalk	200	-2	200	
<b>TOTAL</b>	<b>1900</b>	<b>-200</b>	<b>1700</b>	<b>-6 %</b>
<b>RECHENFALL R12</b>				
Hilssandstein	180	-10	170	
Rhät	40		40	
Oberer Muschelkalk	120	-10	110	
<b>TOTAL</b>	<b>340</b>	<b>-20</b>	<b>320</b>	<b>-80 %</b>

Tab. 4-4 Rechenfälle R01, R11, R12:  
Flüsse durch den Schnitt 1

Rechenfall	Durchfluss durch das Grubengebäude		Fehlermass	d a v o n	
	[l/min]	[m <sup>3</sup> /Jahr]		Abfluss durch Nordstrecke	Abfluss bzw. Zufluss durch Doggerstrecke (Schacht K2)
			[%]	[l/min]	[l/min]
R01	1.2	630	4	-0.03	0.2
R02	5.4	2840	0.7	-0.2	0.4
R03	2.0	1050	12	-0.07	-0.15
R04	1.1	580	39	-0.005	-0.9
R05	1.4	740	41	-0.003	-1.0
R06	1.7	890	0.3	-0.5	0.6
R07	1.0	530	1	-. -	-. -
R11	1.7	890	17	-0.04	0.9
R12	1.3	680	8	-0.03	0.4
R13	1.7	890	16	-0.04	0.8

Tabelle 4-5 Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13:  
Durchfluss durch das Grubengebäude

Traj. Nr.	Weg [km]	Zeit [Mio a]	Geschwin- digkeit [m/a]	Endpunkt in Schicht- einheit	Koordinaten des Endpunktes			Abbruch nach Schritt Nr.	Fort- setzung	Abbruch der Fortsetzung nach Schritt Nr.
					R	H	z [m NN]			
1	(0.65)	(0.11)	(5.67E-03)	ox	35 95 500	57 82 800	-1240	106		
2	36.6	90.9	4.03E-04	C	36 03 400	58 13 300	-1730	106	x	1230
3	27.1	5.0	5.46E-03	L (Meine)	36 02 000	58 07 200	-1220	677		
4	0.98	3.4	2.89E-04	ox	35 96 300	57 82 500	-920	96		
5	11.5	53.4	2.16E-04	q	35 97 000	57 88 300	70	-		
6	1.0	1.3	8.06E-04	ox	35 96 600	57 82 600	-650	105		
7	3.0	19.4	1.54E-04	q	35 97 000	57 84 400	80	-		
8	2.0	4.1	4.84E-04	D (Konr.Gr.)	35 95 900	57 85 000	-1150	82	x	135
9	38.4	269.7	1.42E-04	C	36 02 700	58 14 300	-1930	99	x	1325
10	32.0	0.38	8.54E-02	C (Westrand)	36 00 100	58 12 600	-2060	343	x	
11	16.9	1.3	1.32E-02	q	35 95 400	57 98 800	70	-		
12	38.1	18.7	2.03E-03	q	36 11 100	58 11 900	50	-		
13	31.1	106.8	2.91E-04	q	36 02 500	58 12 100	50	-		
14	5.3	20.1	2.63E-04	q	35 96 500	57 86 900	50	-		
15	39.0	88.1	4.43E-04	q	36 11 100	58 11 900	50	-		
16	32.1	118.1	2.72E-04	q	36 02 800	58 12 000	50	-		
17	26.0	11.4	2.28E-03	C	36 02 100	58 07 100	-1050	567		
18	25.4	11.4	2.22E-03	C	36 02 100	58 07 100	-1050	527		
19	12.4	31.6	3.92E-04	q	35 95 700	57 93 600	70	-		
20	26.1	69.1	3.77E-04	C	36 02 600	58 06 200	-800	621		

Tab. 4-6 Rechenfall R01 (Referenzfall): Trajektorien Daten

Traj. Nr.	Weg [km]	Zeit [Mio a]	Geschwin- digkeit [m/a]	Endpunkt in Schicht- einheit	Koordinaten des Endpunktes			Abbruch nach Schritt Nr.	Fort- setzung	Abbruch der Fortsetzung nach Schritt Nr.
					R	H	z [m NN]			
1	35.0	2.5	1.41E-02	t (Westrand)	36 00 900	58 14 500	-20	-		
2	11.9	1.3	9.50E-03	q	35 95 600	57 93 600	70	-		
3	14.8	1.7	8.65E-03	kru	35 95 000	57 97 100	20	419		
4	3.3	0.43	7.73E-03	q	35 96 800	57 84 100	80	-		
5	6.9	0.33	2.08E-02	q	35 97 000	57 88 300	70	-		
6	9.0	0.49	1.86E-02	q	35 97 000	57 88 800	70	-		
7	2.2	0.41	5.44E-03	q	35 97 000	57 84 300	80	-		
8	12.4	0.8	1.56E-02	q	35 95 600	57 94 100	40	42	x	328
9	18.7	0.87	2.15E-02	q	35 99 600	57 99 700	60	-		
10	5.0	0.98	5.14E-03	q	35 95 000	57 87 400	80	-		
11	1.4	1.0	1.36E-03	q	35 96 100	57 83 800	80	-		
12	14.2	12.3	1.16E-03	ox(Broistedt)	35 94 700	57 97 700	-930	468		
13	5.7	0.98	5.84E-03	q	35 96 200	57 89 300	70	-		
14	1.8	0.46	4.02E-03	q	35 96 800	57 84 100	80	-		
15	10.9	1.1	9.61E-03	q	35 95 900	57 93 700	70	-		
16	7.2	0.47	1.51E-02	q	35 97 000	57 88 800	70	-		
17	16.0	1.8	9.00E-03	q	35 97 100	57 99 400	70	-		
18	15.3	1.8	8.62E-03	q	35 97 100	57 99 400	70	-		
19	2.3	0.37	6.06E-03	q	35 97 000	57 84 300	80	-		
20	19.2	7.1	2.69E-03	q	35 99 900	58 00 300	40	467		

Tab. 4-7 Rechenfall R02: Trajektorienendaten

Traj. Nr.	Weg [km]	Zeit [Mio a]	Geschwindigkeit [m/a]	Endpunkt in Schicht-einheit	Koordinaten des Endpunktes			Abbruch nach Schritt Nr.	Fortsetzung	Abbruch der Fortsetzung nach Schritt Nr.
					R	H	z [m NN]			
1	39.9	44.3	9.00E-04	q	36 10 000	58 14 200	50	-		
2	17.2	77.4	2.22E-04	kro (Ostrand)	36 03 900	57 93 000	-10	-		
3	45.1	6.3	7.17E-03	q	36 11 400	58 14 900	50	1	x	-
4	40.3	8.7	4.64E-03	q	36 11 200	58 13 200	50	-		
5	10.5	19.6	5.36E-04	q	36 02 600	57 87 100	70	-		
6	11.6	20.3	5.71E-04	q	36 02 600	57 87 100	70	-		
7	38.4	7.0	5.47E-03	ox	36 10 600	58 12 500	-10	45	x	701
8	42.1	37.7	1.12E-03	kru	36 11 700	58 13 900	0	1048		
9	42.6	38.6	1.10E-03	kru	36 11 700	58 13 900	0	1103		
10	32.1	45.8	7.00E-04	q	36 02 400	58 13 000	50	-		
11	1.8	63.5	2.89E-05	q	35 96 200	57 83 900	80	-		
12	3.7	16.6	2.23E-04	D	35 95 300	57 87 800	-1540	62	x	90
13	37.8	111.4	3.39E-04	q	36 09 800	58 14 500	50	-		
14	5.1	38.8	1.30E-04	q	35 96 500	57 86 900	50	-		
15	38.9	16.9	2.31E-03	q	36 11 400	58 13 400	50	-		
16	35.6	8.0	4.45E-03	q	36 10 300	58 11 100	50	-		
17	40.6	47.3	8.58E-04	q	36 11 700	58 13 700	50	-		
18	39.9	47.3	8.44E-04	q	36 11 700	58 13 700	50	-		
19	11.4	21.1	5.42E-04	q	36 02 600	57 87 200	70	-		
20	39.9	26.1	1.53E-03	q	36 11 100	58 13 100	50	-		

Tab. 4-8 Rechenfall R03: Trajektorien Daten

Traj. Nr.	Weg [km]	Zeit [Mio a]	Geschwin- digkeit [m/a]	Endpunkt in Schicht- einheit	Koordinaten des Endpunktes			Abbruch nach Schritt Nr.	Fort- setzung nach Schritt Nr.	Abbruch der Fortsetzung nach Schritt Nr.
					R	H	z [m NN]			
1	(1.2)	(0.84)	(1.37E-03)	ox	35 95 900	57 82 300	-820	50		
2	44.4	82.9	5.35E-04	C	36 10 400	58 12 600	-400	1501		
3	34.9	77.0	4.53E-04	L	36 02 800	58 14 100	-1870	1112		
4	(0.51)	(0.08)	(6.09E-03)	ox	35 96 500	57 82 000	-830	114		
5	3.9	8.5	4.59E-04	q	35 97 400	57 82 300	80	-		
6	6.9	85.9	8.04E-05	q	35 97 500	57 83 500	80	-		
7	6.1	16.4	3.72E-04	q	35 97 000	57 84 400	80	-		
8	6.5	16.6	3.94E-04	q	35 97 000	57 84 400	80	-		
9	6.9	16.5	4.17E-04	q	35 97 000	57 84 400	80	-		
10	7.7	9.7	7.91E-04	q	35 97 000	57 88 300	70	-		
11	3.5	8.0	4.37E-04	q	35 97 000	57 84 400	80	-		
12	17.3	45.1	3.84E-04	D	36 00 300	57 99 200	-730	484		
13	39.8	87.2	4.56E-04	q	36 11 100	58 11 900	50	-		
14	3.0	8.0	3.71E-04	q	35 97 000	57 84 400	80	-		
15	25.9	24.8	1.04E-03	C	36 02 800	58 06 100	-750	669		
16	2.4	7.3	3.31E-04	q	35 97 000	57 84 400	80	-		
17	16.8	39.5	4.26E-04	D	36 00 400	57 99 200	-700	372		
18	16.2	39.5	4.10E-04	D	36 00 400	57 99 200	-700	332		
19	6.1	16.4	3.70E-04	q	35 97 000	57 84 400	80	-		
20	11.8	24.7	4.75E-04	q	36 02 600	57 87 100	70	-		

Tab. 4-9 Rechenfall R04: Trajektoriendaten

Traj. Nr.	Weg [km]	Zeit [Mio a]	Geschwindigkeit [m/a]	Endpunkt in Schicht-einheit	Koordinaten des Endpunktes			Abbruch nach Schritt Nr.	Fortsetzung	Abbruch der Fortsetzung nach Schritt Nr.
					R	H	z [m NN]			
1	1.1	14.1	8.15E-05	D(Störz.d)	35 95 700	57 82 500	-1160	65		
2	36.4	71.7	5.08E-04	C	36 03 400	58 13 400	-1730	1336		
3	1.1	1.0	1.08E-03	D(Konr.Gr.)	35 95 900	57 83 100	-1110	79		
4	0.53	1.2	4.25E-04	ox	35 96 500	57 81 900	-810	94		
5	3.7	8.2	4.60E-04	q	35 97 400	57 82 400	80	-		
6	6.9	94.0	7.32E-05	q	35 97 300	57 82 300	80	-		
7	4.6	12.3	3.75E-04	q	35 97 500	57 83 500	80	-		
8	5.1	12.5	4.08E-04	q	35 97 500	57 83 500	80	-		
9	5.6	22.1	2.52E-04	L(#)	35 99 500	57 82 600	-600	355		
10	2.6	7.4	3.47E-04	q	35 96 800	57 83 800	80	-		
11	2.2	7.4	2.94E-04	q	35 96 800	57 83 800	80	-		
12	17.4	48.2	3.62E-04	D	36 00 300	57 99 200	-740	508		
13	45.2	92.9	4.87E-04	q	36 11 500	58 12 500	10	-		
14	5.5	13.8	3.94E-04	q	35 97 300	57 84 700	80	-		
15	25.9	32.3	8.04E-04	L	36 02 800	58 06 200	-780	662		
16	5.7	83.6	6.79E-05	q	36 02 000	57 83 400	60	-		
17	16.9	38.8	4.34E-04	D	36 00 500	57 99 200	-700	375		
18	16.2	38.8	4.17E-04	D	36 00 500	57 99 200	-700	335		
19	4.6	12.3	3.72E-04	q	35 97 500	57 83 500	80	-		
20	4.5	3.4	1.34E-03	L(#)	35 99 500	57 82 600	-600	242		

Tab. 4-10 Rechenfall R05: Trajektorien Daten



Traj. Nr.	Weg [km]	Zeit [Mio a]	Geschwindigkeit [m/a]	Endpunkt in Schicht-einheit	Koordinaten des Endpunktes			Abbruch nach Schritt Nr.	Fortsetzung	Abbruch der Fortsetzung nach Schritt Nr.
					R	H	z [m NN]			
1	36.4	226.9	1.61E-04	ox	36 02 100	58 15 400	-1450	1100		
2	35.7	9.6	3.72E-03	q	36 01 700	58 14 500	50	-	x	-
3	35.0	7.7	4.56E-03	q	36 01 700	58 14 500	50	-		
4	33.0	53.7	6.14E-04	C (Westrand)	36 00 000	58 12 300	-2040	154	x	-
5	13.2	55.7	2.37E-04	q	35 95 600	57 94 100	40	466		
6	14.2	52.7	2.70E-04	q	35 95 600	57 94 100	40	543		
7	5.2	29.0	1.79E-04	q	35 96 500	57 87 200	80	-		
8	32.1	54.4	5.90E-04	C (Westrand)	36 00 000	58 12 300	-2040	-		
9	31.9	55.7	5.73E-04	C (Westrand)	36 00 000	58 12 300	-2040	102	x	-
10	35.3	7.7	4.61E-03	q	36 01 700	58 14 500	50	-		
11	1.5	88.7	1.72E-05	kru(Konr.Gr.)	35 95 800	57 84 700	-380	213		
12	26.7	1.6	1.63E-02	q	35 97 800	58 08 800	60	-		
13	31.4	130.9	2.40E-04	D (Westrand)	36 00 400	58 13 000	-1880	-		
14	28.8	36.6	7.87E-04	E (Westrand)	35 98 300	58 09 700	0	-		
15	35.9	12.3	2.93E-03	q	36 05 800	58 13 600	50	-		
16	30.2	331.4	9.10E-05	q	36 01 100	58 11 700	60	-		
17	26.1	2.4	1.09E-02	C	36 01 900	58 07 200	-1110	571		
18	25.4	2.4	1.06E-02	C	36 01 900	58 07 200	-1110	531		
19	5.3	29.6	1.78E-04	q	35 96 500	57 87 300	80	-		
20	34.9	144.9	2.41E-04	C	36 03 300	58 13 400	-1740	1012		

Tab. 4-11 Rechenfall R06: Trajektorien Daten

Traj. Nr.	Weg [km]	Zeit [Mio a]	Geschwin- digkeit [m/a]	Endpunkt in Schicht- einheit	Koordinaten des Endpunktes			Abbruch nach Schritt Nr.	Fort- setzung	Abbruch der Fortsetzung nach Schritt Nr.
					R	H	z [m NN]			
1	39.0	302.5	1.29E-04	C	36 02 700	58 14 300	-1930	131	x	1325
2	38.9	291.6	1.33E-04	C	36 02 700	58 14 300	-1930	1403		
3	27.1	3.7	7.28E-03	L(Meine)	36 02 000	58 07 200	-1220	685		
4	1.3	1.9	6.66E-04	ox	35 96 100	57 82 700	-980	132		
5	6.0	75.9	7.85E-05	q	35 97 400	57 82 300	80	-		
6	28.4	46.2	6.15E-04	L(Meine)	36 02 800	58 06 100	-870	852		
7	35.9	146.6	2.45E-04	C	36 03 400	58 13 300	-1730	56	x	973
8	37.7	283.0	1.33E-04	C	36 02 700	58 14 300	-1930	83	x	1343
9	(0.35)	(0.01)	(6.17E-02)	grub(Konr.Gr)	35 96 000	57 82 900	-970	35		
10	21.6	1.6	1.38E-02	q	35 97 700	58 02 200	60	-		
11	18.7	1.8	1.07E-02	q	35 95 600	58 00 300	70	-		
12	38.4	65.6	5.86E-04	q	36 11 100	58 11 900	50	-		
13	31.5	5.9	5.32E-03	q	36 02 400	58 12 900	50	-		
14	5.4	23.5	2.29E-04	q	35 96 500	57 86 900	50	-		
15	45.9	117.1	3.91E-04	q	36 11 500	58 12 600	50	-		
16	26.8	46.2	5.80E-04	L	36 02 800	58 06 100	-870	790		
17	19.9	5.3	3.76E-03	q	35 97 700	58 02 100	60	-		
18	25.8	14.8	1.75E-03	L	36 02 100	58 07 100	-1220	547		
19	36.3	132.0	2.75E-04	C	36 03 400	58 13 300	-1730	62	x	968
20	36.6	144.3	2.53E-04	C	36 03 400	58 13 300	-1730	1037		

Tab. 4-12 Rechenfall R07: Trajektorien Daten

Traj. Nr.	Weg [km]	Zeit [Mio a]	Geschwin- digkeit [m/a]	Endpunkt in Schicht- einheit	Koordinaten des Endpunktes			Abbruch nach Schritt Nr.	Fort- setzung	Abbruch der Fortsetzung nach Schritt Nr.
					R	H	z [m NN]			
1	24.6	2.3	1.07E-02	C(Broist.)	35 97 900	58 04 200	-1570	574		
2	23.4	0.91	2.57E-02	C(Broist.)	35 97 900	58 04 300	-1560	466	x	49
3	24.4	9.3	7.61E-07	C(Broist.)	35 98 000	58 05 700	-1560	476		
4	1.4	3.2	4.26E-04	ox	35 96 600	57 82 600	-650	139		
5	3.8	8.4	4.56E-04	q	35 97 400	57 82 300	80	-		
6	(0.5)	(0.07)	(7.45E-03)	ox	35 96 600	57 82 200	-810	166		
7	13.0	23.3	5.59E-04	q	35 95 600	57 94 100	40	429		
8	35.4	159.7	2.22E-04	ox	36 02 100	58 15 400	-1450	143	x	638
9	37.1	137.2	2.70E-04	ox	36 02 100	58 15 400	-1450	99	x	1262
10	20.5	0.72	2.86E-02	q	35 97 900	58 01 500	30	408		
11	15.1	0.98	1.55E-02	q	35 94 600	57 97 300	70	-		
12	33.1	7.9	4.21E-03	q	36 03 900	58 13 000	20	574		
13	26.3	3.9	6.82E-03	q	35 97 900	58 08 700	60	-		
14	12.4	22.1	5.61E-04	q	35 95 600	57 94 100	40	381		
15	25.8	268.6	9.62E-05	q	36 02 800	58 07 400	70	-		
16	2.9	8.1	3.53E-04	q	35 97 300	57 84 800	80	-		
17	26.3	19.1	1.38E-03	L(Meine)	36 02 100	58 07 100	-1190	572		
18	25.6	19.1	1.34E-03	L	36 02 100	58 07 100	-1190	532		
19	18.0	32.2	5.58E-04	q	35 99 500	57 99 300	60	-		
20	6.5	96.7	6.74E-05	q	36 02 000	57 83 400	60	-		

Tab. 4-13 Rechenfall R11: Trajektorien Daten

Traj. Nr.	Weg [km]	Zeit [Mio a]	Geschwindigkeit [m/a]	Endpunkt in Schicht-einheit	Koordinaten des Endpunktes			Abbruch nach Schritt Nr.	Fortsetzung	Abbruch der Fortsetzung nach Schritt Nr.
					R	H	z [m NN]			
1	38.8	210.7	1.84E-04	C	36 02 700	58 14 300	-1930	1332		
2	38.2	206.4	1.85E-04	C	36 02 700	58 14 300	-1930	1050		
3	27.4	0.27	1.03E-01	C(Westrand)	35 97 600	58 09 100	-1690	303	x	-
4	(1.4)	(0.10)	(1.43E-02)	ox(Konr.Gr.)	35 96 300	57 82 900	-940	98		
5	6.0	77.7	7.68E-05	q	35 97 400	57 82 300	80	-		
6	(1.0)	(0.13)	(7.80E-03)	ox	35 96 700	57 82 700	-780	98		
7	40.7	89.9	4.53E-04	q	36 11 100	58 11 900	50	-		
8	27.7	15.8	1.76E-03	L(Meine)	36 02 100	58 07 100	-1220	685		
9	36.0	101.7	3.54E-04	C	36 03 400	58 13 300	-1730	108	x	1102
10	27.6	0.43	6.43E-02	C(Westrand)	35 97 600	58 09 100	-1690	366	x	-
11	16.8	1.2	1.44E-02	q	35 95 300	57 98 800	70	-		
12	27.3	1.1	2.51E-02	ox(Meine)	36 01 800	58 08 500	-1500	526		
13	32.6	6.9	4.74E-03	q	36 02 400	58 12 900	50	-		
14	5.3	22.2	2.37E-04	q	35 96 500	57 86 900	50	-		
15	39.1	89.9	4.35E-04	q	36 11 100	58 11 900	50	-		
16	26.7	47.2	5.66E-04	L(Meine)	36 02 800	58 06 100	-870	794		
17	26.1	15.5	1.69E-03	L(Meine)	36 02 100	58 07 100	-1210	605		
18	25.5	15.5	1.65E-03	L(Meine)	36 02 100	58 07 100	-1210	565		
19	(0.68)	(0.12)	(5.94E-02)	ox(Konr.Gr.)	35 96 313	57 83 364	-910	105		
20	40.4	132.3	3.05E-04	q	36 11 100	58 11 900	50	-		

Tab. 4-14 Rechenfall R12: Trajektorien-daten

Traj. Nr.	Weg [km]	Zeit [Mio a]	Geschwin- digkeit [m/a]	Endpunkt in Schicht- einheit	Koordinaten des Endpunktes			Abbruch nach Schritt Nr.	Fort- setzung	Abbruch der Fortsetzung nach Schritt Nr.
					R	H	z [m NN]			
1	29.1	0.43	6.70E-02	C(Westrand)	35 97 700	58 09 200	-1710	449	x	-
2	38.4	121.2	3.17E-04	q	36 04 000	58 15 500	50	-		
3	27.4	0.31	8.96E-02	C(Westrand)	35 97 700	58 09 200	-1710	301	x	-
4	(0.85)	(0.14)	(6.14E-03)	ox	35 96 300	57 82 400	-910	90		
5	3.8	8.6	4.46E-04	q	35 97 400	57 82 300	80	-		
6	(0.45)	(0.09)	(5.02E-03)	ox	35 96 600	57 82 200	-800	153		
7	12.8	41.1	3.10E-04	q	35 96 000	57 93 900	70	-		
8	19.4	2.1	9.29E-03	q	35 95 600	58 00 300	70	-		
9	(0.37)	(0.09)	4.00E-03	D(Konr.Gr.)	35 95 900	57 82 800	-1070	75		
10	27.8	0.52	(5.32E-02)	C(Westrand)	35 97 700	58 09 200	-1710	371	x	-
11	15.2	0.99	1.54E-02	q	35 94 600	57 97 400	70	-		
12	38.4	59.5	6.45E-04	q	36 11 100	58 11 900	50	-		
13	27.9	6.0	4.67E-03	kru(Meine)	36 01 800	58 08 900	-30	465		
14	12.0	24.9	4.82E-04	q	35 95 600	57 93 700	70	-		
15	23.4	258.1	9.08E-05	D	36 03 000	58 05 800	-620	412		
16	6.4	9.2	6.96E-04	q	35 97 000	57 88 300	70	-		
17	26.3	13.3	1.98E-03	L(Meine)	36 02 100	58 07 100	-1220	592		
18	25.7	13.3	1.93E-03	L(Meine)	36 02 100	58 07 100	-1220	552		
19	40.5	112.3	3.61E-04	q	36 11 100	58 11 900	50	-		
20	6.6	90.9	7.22E-05	q	36 02 000	57 83 500	60	-		

Tab. 4-15 Rechenfall R13: Trajektoriendaten

Endpunkt der Trajektorien	Ausbreitungsweg (signifikanter Horizontaltransp.)	Trajektorien Nr.	L a u f s t r e c k e		L a u f z e i t		Anzahl der Endpunkte
			Bereich [km]	Mittel [km]	Bereich [Mio. a]	Mittel [Mio. a]	
A Umgebung Grube	geringer Hori- zontaltransport	4-6-7-8-14	0.98 - 5.3	2.5	1.3 - 20.1	9.7	5
B Thiede	-	-	-	-	-	-	-
C Nördlich Umgebung Grube bis Meine (ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsb.)	jo kro	19	12.4	12.4	31.6	31.6	2
		5	11.5	11.5	53.4	53.4	
			11.5 - 12.4	12.0	31.6 - 53.4	42.5	
D Salzstockrand Broi- stedt-Rolfsbüttel und Modellrand bis Gifhorn	jo ox-C	11	16.9	16.9	1.3	1.3	2
		10	32.0	32.0	0.38	0.4	
			16.9 - 32.0	24.5	0.38 - 1.3	0.8	
E Meine-Calberlah- Gifhorn	jo ox-C  C	13	31.1	31.1	106.8	106.8	10
		3-12-15-16-	25.4 - 39.0	31.3	5.0 - 118.1	42.1	
		17-18	26.1 - 38.4	33.7	69.1 - 269.7	143.2	
		2-9-20	25.4 - 39.0	32.0	5.0 - 269.7	78.9	

19

Tab. 4-16 Rechenfall R01 (Referenzfall): Charakterisierung der Fließwege

Endpunkt der Trajektorien	Ausbreitungsweg (signifikanter Horizontaltransp.)	Trajektorien Nr.	L a u f s t r e c k e		L a u f z e i t		Anzahl der Endpunkte
			Bereich [km]	Mittel [km]	Bereich [Mio. a]	Mittel [Mio. a]	
A Umgebung Grube	geringer Hori- zontaltransport	4-7-11	1.4 - 3.3	2.3	0.41 - 1.0	0.6	5
		14-19	1.8 - 2.3	2.1	0.37 - 0.46	0.4	
			1.4 - 3.3	2.2	0.37 - 1.0	0.5	
B Thiede	-	-	-	-	-	-	-
C Nördlich Umgebung Grube bis Meine (ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsb.)	kro jo ox C-ox	5	6.9	6.9	0.33	0.3	11
		10-13	5.0 - 5.7	5.4	0.98	1.0	
		6-8-9-15-16- 17-18	7.2 - 18.7	12.8	0.47 - 1.8	1.0	
		20	19.2	19.2	7.1	7.1	
		5.0 - 19.2	10.7 ohne 19.2)	0.33 - 7.1	1.0 (ohne 7.1)		
D Salzstockrand Broi- stedt-Rolfsbüttel und Modellrand bis Gifhorn	ox-jo ox C-ox	2-3	11.9 - 14.8	13.4	1.3 - 1.7	1.5	4
		12	14.2	14.2	12.3	12.3	
		1	35.0	35.0	2.5	2.5	
			11.9 - 35.0	9.0	1.3 - 12.3	4.5	
E Meine-Calberlah-Gif	-	-	-	-	-	-	-

Endpunkt der Trajektorien	Ausbreitungsweg (signifikanter Horizontaltransp.)	Trajektorien Nr.	L a u f s t r e c k e		L a u f z e i t		Anzahl der Endpunkte
			Bereich [km]	Mittel [km]	Bereich [Mio. a]	Mittel [Mio. a]	
A Umgebung Grube	geringer Hori- zontaltransport	11	1.8	1.8	63.5	63.5	1
B Thiede	ox-ko C-ko	5-6	10.5 - 11.6	11.1	19.6 - 20.3	20.0	3
		19	11.4	11.4	21.1	21.1	
			10.5 - 11.6	11.2	5.8 - 21.1	20.3	
C Nördlich Umgebung Grube bis Meine (ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsb.)	kro C C-ko	14	5.1	5.1	38.8	38.8	3
		12	3.7	3.7	16.6	16.6	
		2	17.2	17.2	77.4	77.4	
			3.7 - 17.2	8.7	16.6 - 77.4	44.3	
D Salzstockrand Broi- stedt-Rolfsbüttel	-	-	-	-	-	-	-
E Meine-Calberlah- Gifhorn	jo ox-jo ox-C C-jo C-ko-ox	10	32.1	32.1	45.8	45.8	13
		1-3-13	37.8 - 45.1	40.9	6.3 - 111.4	54.0	
		7-17-18	38.4 - 40.6	39.6	7.0 - 47.3	33.9	
		4-15-16	35.6 - 40.3	38.3	8.0 - 16.9	11.2	
		8-9-20	39.9 - 42.6	41.5	26.1 - 38.6	34.1	
			32.1 - 45.1	39.5	6.3 - 111.4	34.2	

20

=====

Tab. 4-18 Rechenfall R03: Charakterisierung der Fließwege



Endpunkt der Trajektorien	Ausbreitungsweg (signifikanter Horizontaltransp.)	Trajektorien Nr.	L a u f s t r e c k e		L a u f z e i t		Anzahl der Endpunkte
			Bereich [km]	Mittel [km]	Bereich [Mio. a]	Mittel [Mio. a]	
A Umgebung Grube	geringer Hori- zontaltransport	5-6-7-8-9- 11-14-16-19	2.4 - 6.9	5.0	7.3 - 85.9	12.2 (ohne 85.9)	9
B Thiede	L-ko	20	11.8	11.8	24.7	24.7	1
C Nördlich Umgebung Grube bis Meine (ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsb.)	kro ox	10 12-17-18	7.7	7.7	9.7	9.7	4
			16.2 - 17.3	16.8	39.5 - 45.1	41.4	
			7.7 - 17.3	14.5	9.7 - 45.1	33.5	
D Salzstockrand Broi- stedt-Rolfsbüttel und Modellrand bis Gifhorn	-	-	-	-	-	-	-
E Meine-Calberlah- Gifhorn	C	2-3-13-15	25.9 - 44.4	36.3	24.8 - 87.2	68.0	4

18  
=====

Tab. 4-19 Rechenfall R04: Charakterisierung der Fließwege

Endpunkt der Trajektorien	Ausbreitungsweg (signifikanter Horizontaltransp.)	Trajektorien Nr.	L a u f s t r e c k e		L a u f z e i t		Anzahl der Endpunkte
			Bereich [km]	Mittel [km]	Bereich [Mio. a]	Mittel [Mio. a]	
A Umgebung Grube	geringer Hori- zontaltransport	1-3-4-5-6-7- 8-9-10-11-14- 16-19-20	0.5 - 6.9	3.8	1.0 - 94.0	9.7 (ohne 83.6 und 94.0)	14
B Thiede	-	-	-	-	-	-	-
C Nördlich Umgebung Grube bis Meine (ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsb.)	ox	12-17-18	16.2 - 17.4	16.8	38.8 - 48.2	41.9	3
D Salzstockrand Broi- stedt-Rolfsbüttel und Modellrand bis Gifhorn	-	-	-	-	-	-	-
E Meine-Calberlah- Gifhorn	ox-C C	13-15 2	25.9 - 45.2 36.4	35.6 36.4	32.3 - 92.9 71.7	62.6 71.7	3
			25.9 - 45.2	35.8	32.3 - 92.9	65.6	

20  
=====

Tab. 4-20 Rechenfall R05: Charakterisierung der Fließwege

Endpunkt der Trajektorien	Ausbreitungsweg (signifikanter Horizontaltransport.)	Trajektorien Nr.	L a u f s t r e c k e		L a u f z e i t		Anzahl der Endpunkte
			Bereich [km]	Mittel [km]	Bereich [Mio. a]	Mittel [Mio. a]	
A Umgebung Grube	geringer Hori- zontaltransport	11	1.5	1.5	88.7	88.7	1
B Thiede	-	-	-	-	-	-	-
C Nördlich Umgebung Grube bis Meine (ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsb.)	ox	5-6	13.2 - 14.2	13.7	52.7 - 55.7	54.2	4
	jo	7-19	5.2 - 5.3	5.3	29.0 - 29.6	29.3	
			5.2 - 14.2	9.5	29.0 - 55.7	41.8	
D Salzstockrand Broi- stedt-Rolfsbüttel und Modellrand bis Gifhorn	jo	4-9	31.9 - 33.0	32.5	53.7 - 55.7	54.7	10
	ox-jo	2-3-10-12-14	26.7 - 35.7	32.3	1.6 - 36.6	12.6	
	ox-C	13	31.4	31.4	130.9	130.9	
	C	1-8	32.1 - 36.4	34.3	54.5 - 226.9	140.7	
			26.7 - 36.4	32.6	1.6 - 226.9	58.5	
E Meine-Calberlah- Gifhorn	ox-jo	15-16	30.2 - 35.9	33.1	12.3 - 331.4	171.9	5
	ox-C	17-18	25.4 - 26.1	25.8	2.4	2.4	
	C	20	34.9	34.9	144.9	144.9	
			25.4 - 35.9	30.5	2.4 - 331.4	98.7	

Tab. 4-21 Rechenfall R06: Charakterisierung der Fließwege

Endpunkt der Trajektorien	Ausbreitungsweg (signifikanter Horizontaltransp.)	Trajektorien Nr.	L a u f s t r e c k e		L a u f z e i t		Anzahl der Endpunkte
			Bereich [km]	Mittel [km]	Bereich [Mio. a]	Mittel [Mio. a]	
A Umgebung Grube	geringer Hori- zontaltransport	4-5	1.3 - 6.0	3.7	1.9 - 75.9	38.9	2
B Thiede	-	-	-	-	-	-	-
C Nördlich Umgebung Grube bis Meine (ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsb.)	kro	14	5.4	5.4	23.5	23.5	1
D Salzstockrand Broi- stedt-Rolfsbüttel und Modellrand bis Gifhorn	jo	10-11-17	18.7 - 21.6	19.9	1.6 - 5.3	2.9	3
E Meine-Calberlah- Gifhorn	ox-jo ox ox-C C	13-19	31.5 - 36.3	33.9	5.9 - 132.0	69.0	13
		12-15	38.4 - 45.9	42.2	65.6 - 117.1	91.4	
		6-16	26.8 - 28.4	27.6	46.2	46.2	
		1-2-3-7-8- 18-20	25.8 - 39.0	34.4	3.7 - 302.5	169.5	
			25.8 - 45.9	34.2	3.7 - 302.5	123.0	

19  
=====

Tab. 4-22 Rechenfall R07: Charakterisierung der Fließwege

Endpunkt der Trajektorien	Ausbreitungsweg (signifikanter Horizontaltransp.)	Trajektorien Nr.	L a u f s t r e c k e		L a u f z e i t		Anzahl der Endpunkte
			Bereich [km]	Mittel [km]	Bereich [Mio. a]	Mittel [Mio. a]	
A Umgebung Grube	geringer Hori- zontaltransport	4-5-16	1.4 - 3.8	2.7	3.2 - 8.4	6.7	3
B Thiede	H1	20	6.5	6.5	96.7	96.7	1
C Nördlich Umgebung Grube bis Meine (ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsb.)	jo ox	7-14	12.4 - 13.0	12.7	22.1 - 23.3	22.7	3
		19	18.0	18.0	32.2	32.2	
			12.4 - 18.0	14.4	22.1 - 32.2	25.9	
D Salzstockrand Broi- stedt-Rolfsbüttel und Modellrand bis Gifhorn	jo ox	10-11-13	15.1 - 26.3	20.6	0.72 - 3.9	1.6 (ohne 9.3) 1.8 (ohne 9.3)	6
		1-2-3	23.4 - 24.6	24.1	0.91 - 9.3		
			15.1 - 26.3	22.4	0.72 - 9.3		
E Meine-Calberlah- Gifhorn	ox-jo ox ox-C C	12	33.1	33.1	7.9	7.9	6
		15	25.8	25.8	268.6	268.6	
		17-18	25.6 - 26.3	26.0	19.1	19.1	
		8-9	35.4 - 37.1	36.3	137.2 - 159.7	148.5	
			25.6 - 37.1	30.6	7.9 - 268.6	101.9	

Tab. 4-23 Rechenfall R11: Charakterisierung der Fließwege

Endpunkt der Trajektorien	Ausbreitungsweg (signifikanter Horizontaltransp.)	Trajektorien Nr.	L a u f s t r e c k e		L a u f z e i t		Anzahl der Endpunkte
			Bereich [km]	Mittel [km]	Bereich [Mio. a]	Mittel [Mio. a]	
A Umgebung Grube	geringer Hori- zontaltransport	5	6.0	6.0	77.7	77.7	1
B Thiede	-	-	-	-	-	-	-
C Nördlich Umgebung Grube bis Meine (ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsb.)	kro	14	5.3	5.3	22.2	22.2	1
D Salzstockrand Broi- stedt-Rolfsbüttel und Modellrand bis Gifhorn	jo ox-C	11	16.8	16.8	1.2	1.2	3
		3-10	27.4 - 27.6	27.5	0.27 - 0.43	0.4	
E Meine-Calberlah- Gifhorn	ox-jo ox-C  C	13	32.6	32.6	6.9	6.9	12
		1-2-7-8-9-12- 15-17-18	25.5 - 40.7	33.3	1.1 - 206.4	82.9	
		16-20	26.7 - 40.4	33.6	47.2 - 132.3	89.8	
			25.5 - 40.7	33.3	1.1 - 206.4	77.7	

17

=====

Tab. 4-24 Rechenfall R12: Charakterisierung der Fließwege

Endpunkt der Trajektorien	Ausbreitungsweg (signifikanter Horizontaltransp.)	Trajektorien Nr.	L a u f s t r e c k e		L a u f z e i t		Anzahl der Endpunkte
			Bereich [km]	Mittel [km]	Bereich [Mio. a]	Mittel [Mio. a]	
A Umgebung Grube	geringer Hori- zontaltransport	5	3.8	3.8	8.6	8.6	1
B Thiede	Hl	20	6.6	6.6	90.9	90.9	1
C Nördlich Umgebung Grube bis Meine (ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsb.)	kro jo	16	6.4	6.4	9.2	9.2	3
		7-14	12.0 - 12.8	12.4	24.9 - 41.1	33.0	
D Salzstockrand Broi- stedt-Rolfsbüttel und Modellrand bis Gifhorn	jo ox-C	8-11	15.2 - 19.4	17.3	0.99 - 2.1	1.5	5
		1-3-10	27.4 - 29.1	28.1	0.31 - 0.52	0.4	
			15.2 - 29.1	23.8	0.31 - 2.1	0.9	
E Meine-Calberlah- Gifhorn	ox-jo ox ox-C	13	27.9	27.9	6.0	6.0	7
		12-15	23.4 - 38.4	30.9	59.5 - 258.1	158.8	
		2-17-18-19	25.7 - 40.5	32.7	13.3 - 121.2	65.0	
			23.4 - 40.5	31.5	6.0 - 258.1	83.4	

Tab. 4-25 Rechenfall R13: Charakterisierung der Fließwege

Rechenfall	A Umgebung Grube	B Thiede	C Nördlich Umgebung Grube bis Meine (ohne Salzstockrand)	D Salzstockrand Broistedt- Rolfsbüttel und Modellrand bis Gifhorn	E Meine-Calberlah- Gifhorn	Insgesamt
R01	5	-	2	2	10	19
R02	5	-	11	4	-	20
R03	1	3	3	-	13	20
R04	9	1	4	-	4	18
R05	14	-	3	-	3	20
R06	1	-	4	10	5	20
R07	2	-	1	3	13	19
R11	3	1	3	6	6	19
R12	1	-	1	3	12	17
R13	1	1	3	5	7	17
					<b>Insgesamt:</b>	<b>189</b>

(Die Einteilung der Gebiete A bis E ist in Abb. 4-10 definiert)

Tabelle 4-26 Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13:  
Anzahl der Fließwege mit Endpunkten in den Gebieten A bis E



Rechenfall	Anzahl der Trajektorien	Trajektorien-Nr. und Austrittsgebiet	Ausbreitungsweg (signifikanter Horizontaltransport)	Laufstrecke [km]	Laufzeit [Mio Jahre]
R01	-				
R02	12	A: 4-7-11-14-19 C: 5-6-8-9-10-13-16	kro: 5 jo: 10-13 ox: 6-8-9-16	1.4 - 3.3 6.9 5.0 - 5.7 7.2 - 18.7	0.37 - 1.0 0.33 0.98 0.47 - 0.87
R03	-				
R04	-				
R05	-				
R06	-				
R07	-				
R11	2	D	jo: 10-11	15.1 - 20.5	0.72 - 0.98
R12	-				
R13	1	D	jo: 11	15.2	0.99

(Die Austrittsgebiete sind in Abb. 4-10 definiert)

Tabelle 4-27 Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13:  
Ins Quartär austretende Fließwege mit Laufzeiten unter 1 Mio. Jahre

Trajektorien-Nr.	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R11	R12	R13	Anzahl
1			44.3								1
2		1.3				9.6			121.2		3
3			6.3			7.7					2
4		0.43	8.7								2
5	53.4	0.33	19.6	8.5	8.2	55.7	75.9	8.4	77.7	8.6	10
6		0.49	20.3	85.9	94.0	52.7					5
7	19.4	0.41		16.4	12.3	29.0		23.3	89.9	41.1	8
8		0.8		16.6	12.5					2.1	4
9		0.87		16.5							2
10		0.98	45.8	9.7	7.4	7.7	1.6	0.72			7
11	1.3	1.0	63.5	8.0	7.4		1.8	0.98	1.2	0.99	9
12	18.7					1.6	65.6	7.9		59.5	5
13	106.8	0.98	111.4	87.2	92.9		5.9	3.9	6.9		8
14	20.1	0.46	38.8	8.0	13.8		23.5	22.1	22.2	24.9	9
15	88.1	1.1	16.9			12.3	117.1	268.6	89.9		7
16	118.1	0.47	8.0	7.3	83.6	331.4		8.1		9.2	8
17		1.8	47.3				5.3				3
18		1.8	47.3								2
19	31.6	0.37	21.1	6.1	12.3	29.6		32.2		112.3	8
20		7.1	26.1	11.8				96.7	132.3	90.9	6
Anzahl	9	17	15	12	10	10	8	11	7	10	109

Tab. 4-28 Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13:  
 Laufzeiten der ins Quartär austretenden Fließwege in Mio. Jahren

Rechenfall	Laufzeit über 1 Mio. Jahre		Laufzeit unter 1 Mio. Jahre		In Grube abgebrochen	Insgesamt
	Endpunkt im Modellgebiet	Aus Modellrand austretend	Endpunkt im Modellgebiet	Aus Modellrand austretend		
R01	8		1	1	1	11
R02	2	1				3
R03	4	1				5
R04	6				2	8
R05	10					10
R06	5	5				10
R07	11				1	12
R11	7		1		1	9
R12	8			2	3	13
R13	4			3	3	10
Insgesamt	65	7	2	6	11	91

Tab. 4-29 Rechenfälle R01 bis R07, R11 bis R13  
Nicht in der Biosphäre endende Fließwege

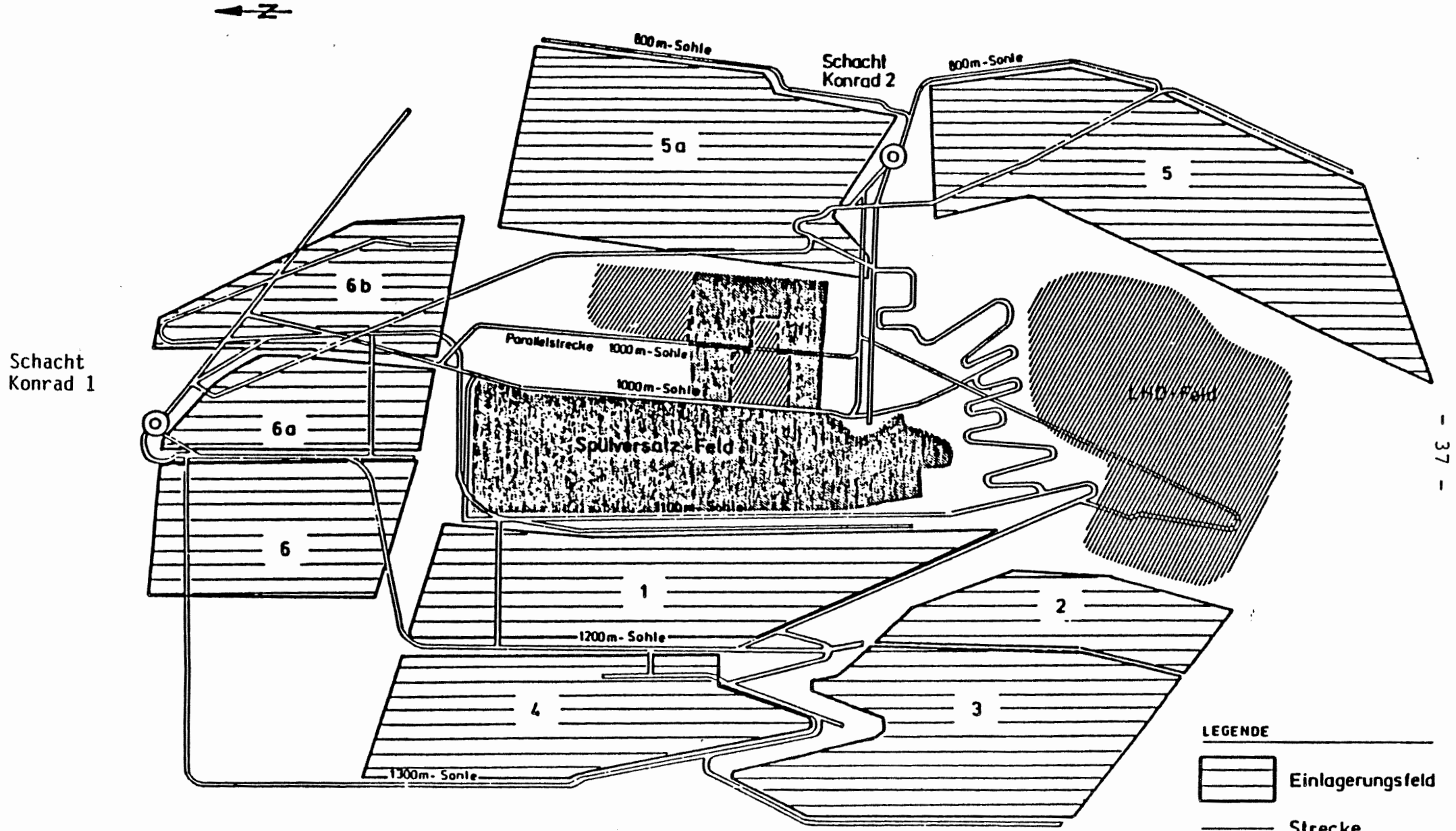


Abb. 1-1: Uebersicht über das Grubengebäude  
 (Quelle: Dok. [7], Abb. 2-2)

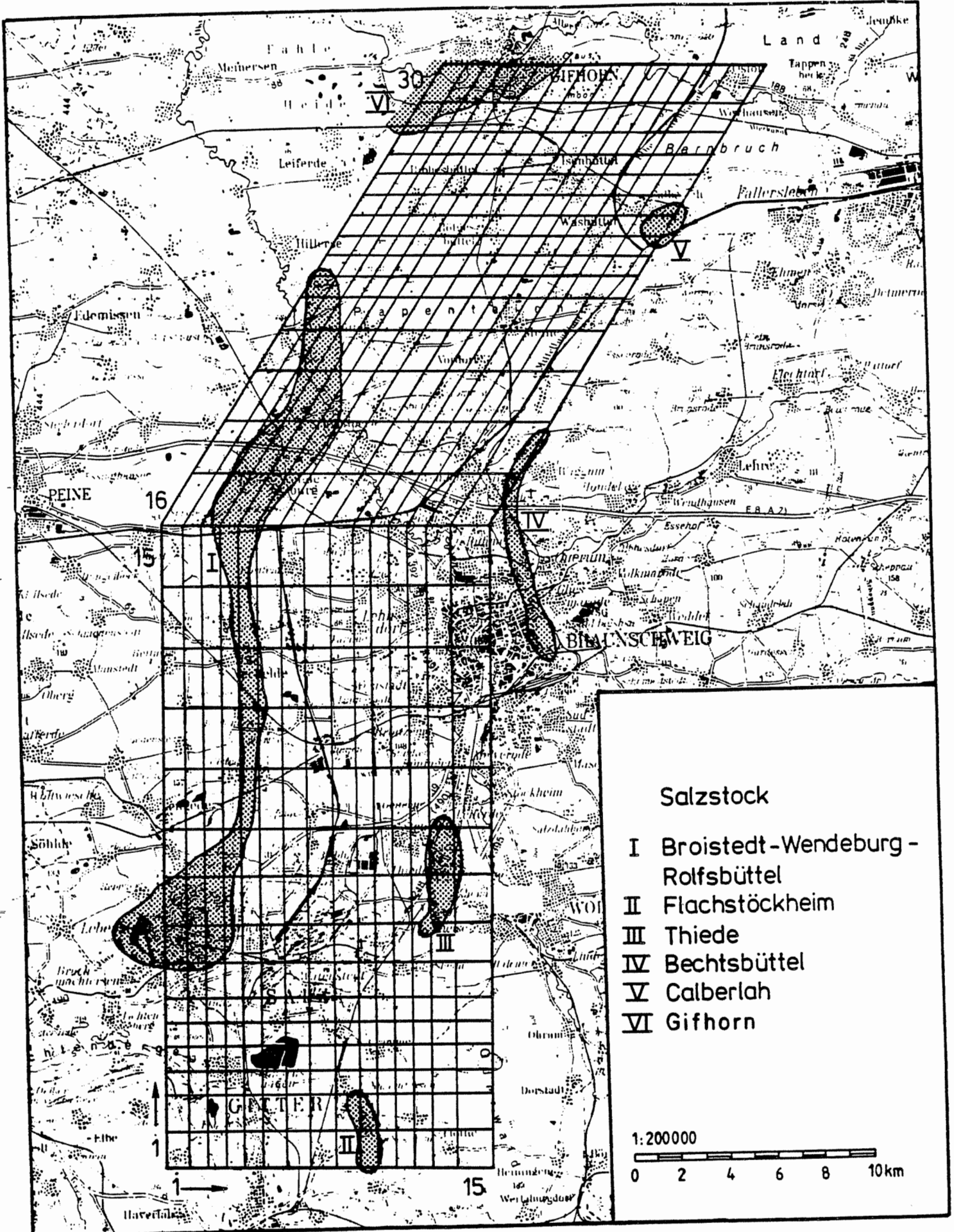


Abb. 2-1 Darstellung des Untersuchungsgebietes und des Oberflächen-Elementnetzes der SWIFT-Modellierung (Quelle: Dok. [34] Abb. 4-10)

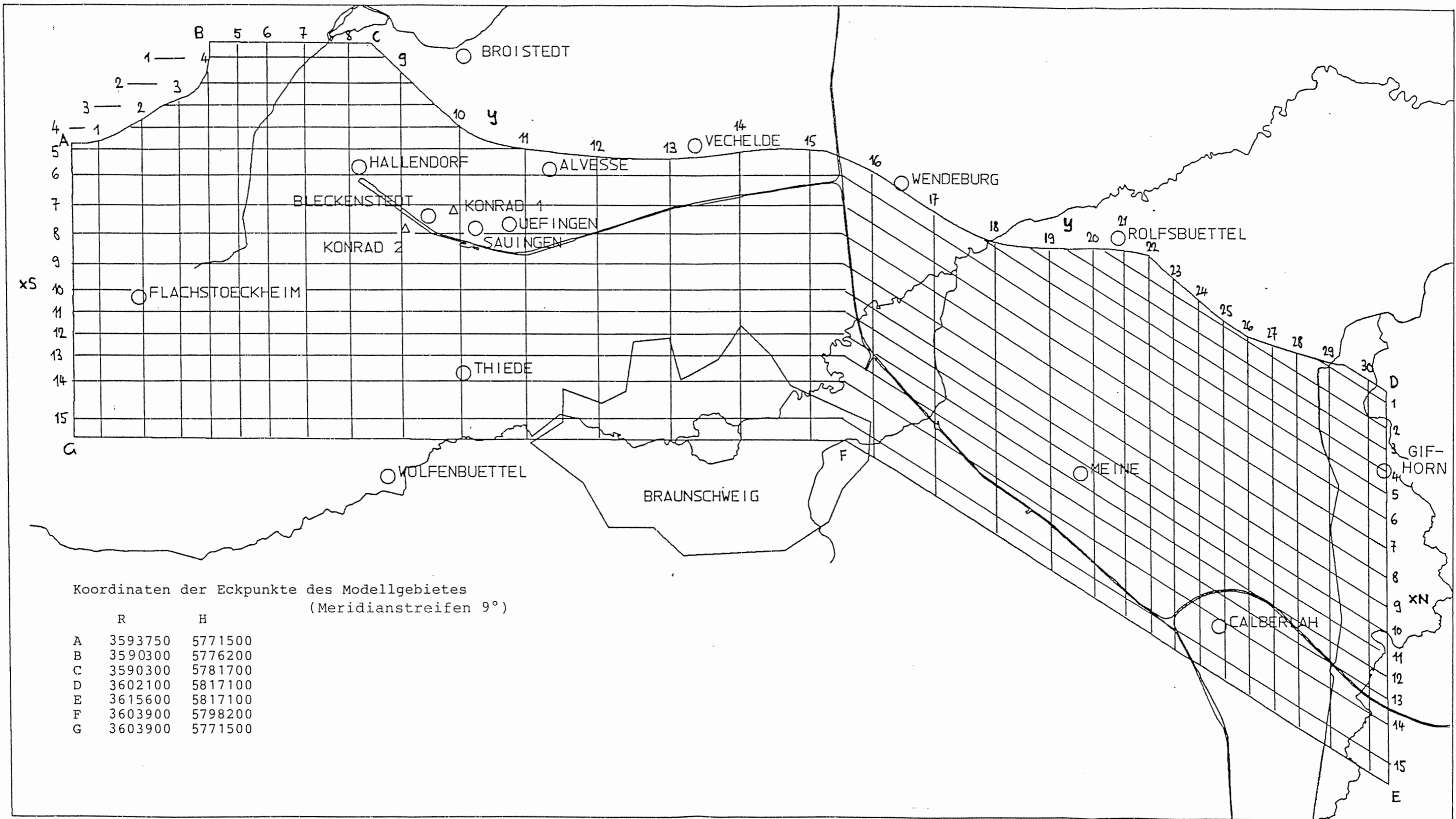


Abb. 3-1  
Modellgebiet mit Koordinaten  
der Eckpunkte und Lage der  
geologischen Profile BGR

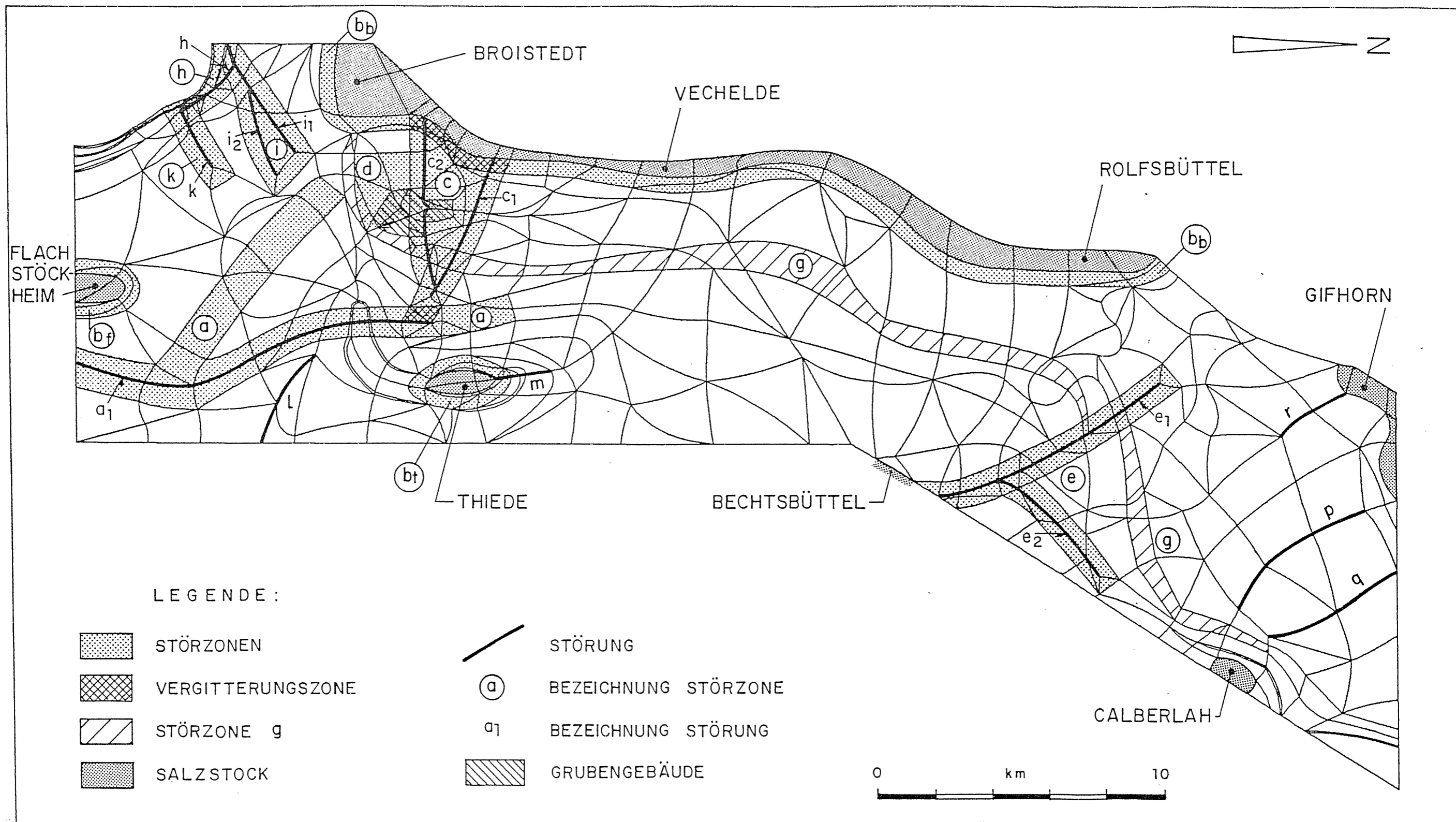


Abb. 3-2  
 Elementnetz mit Lage der  
 Störungen und Störzonen,  
 des Grubengebäudes und  
 der Salzstöcke

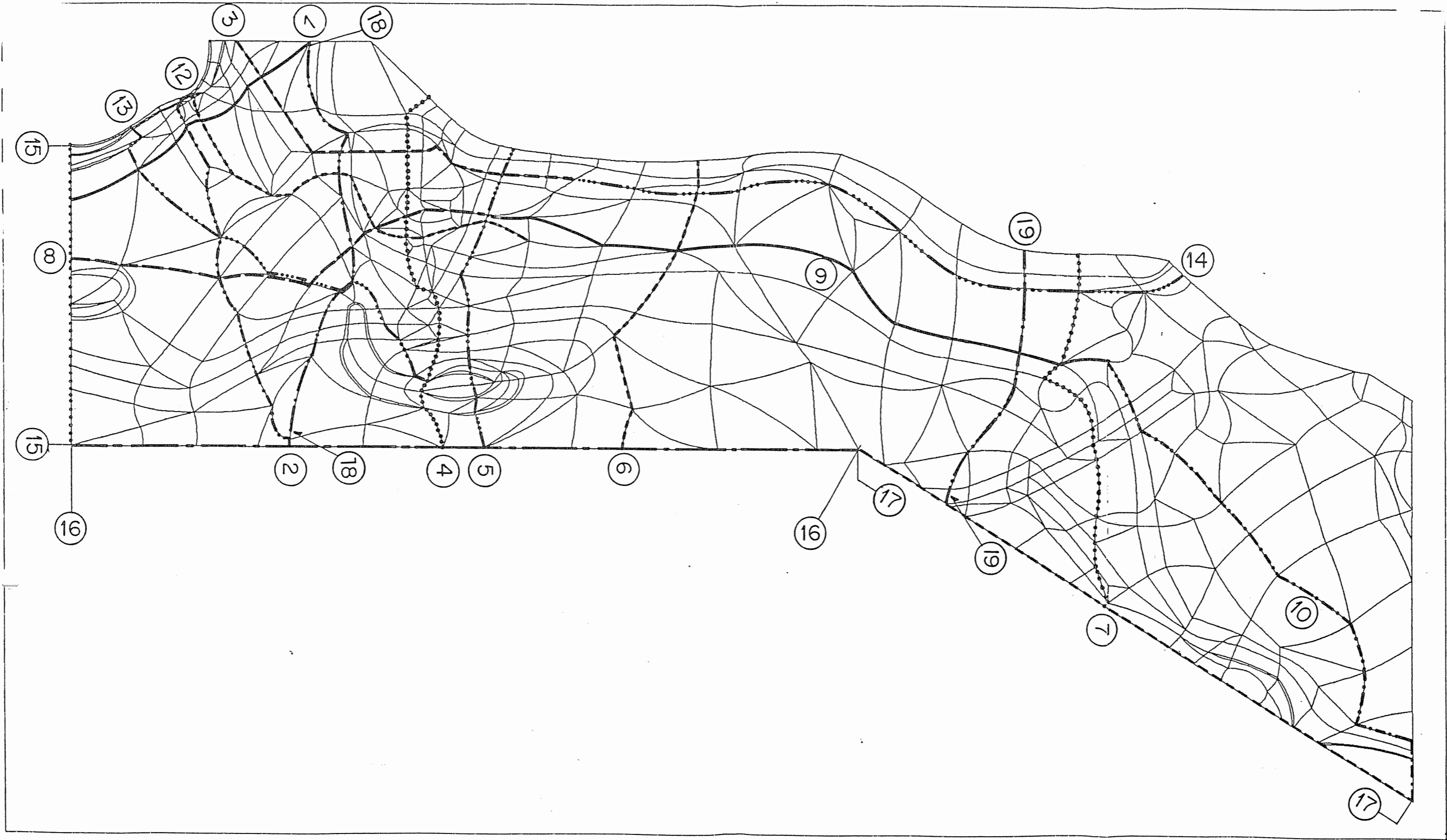


Abb. 3-3  
Elementnetz mit Lage der  
Modellschnitte



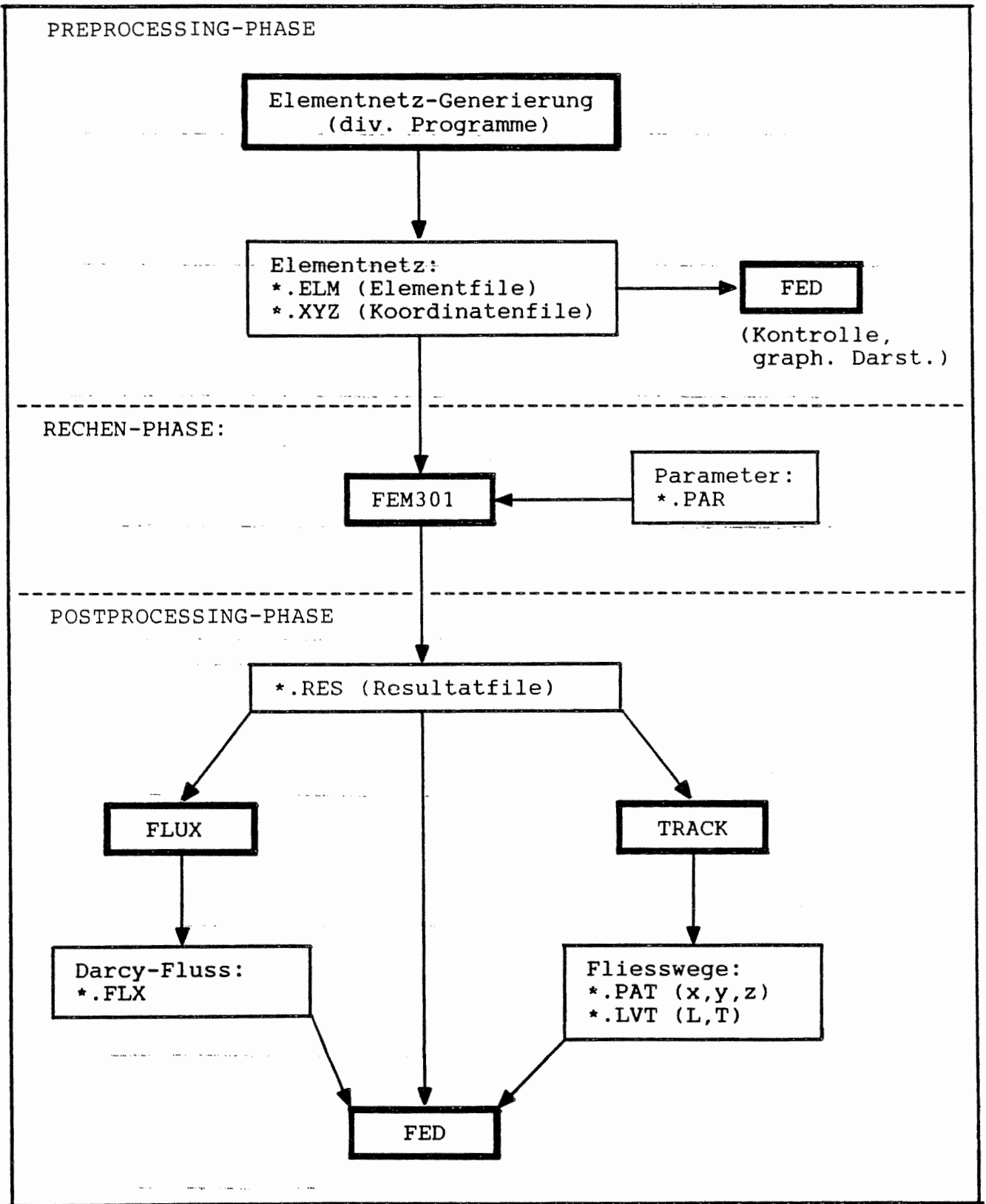


Abb. 3-4 Flussdiagramm der hydrodynamischen Modellierung

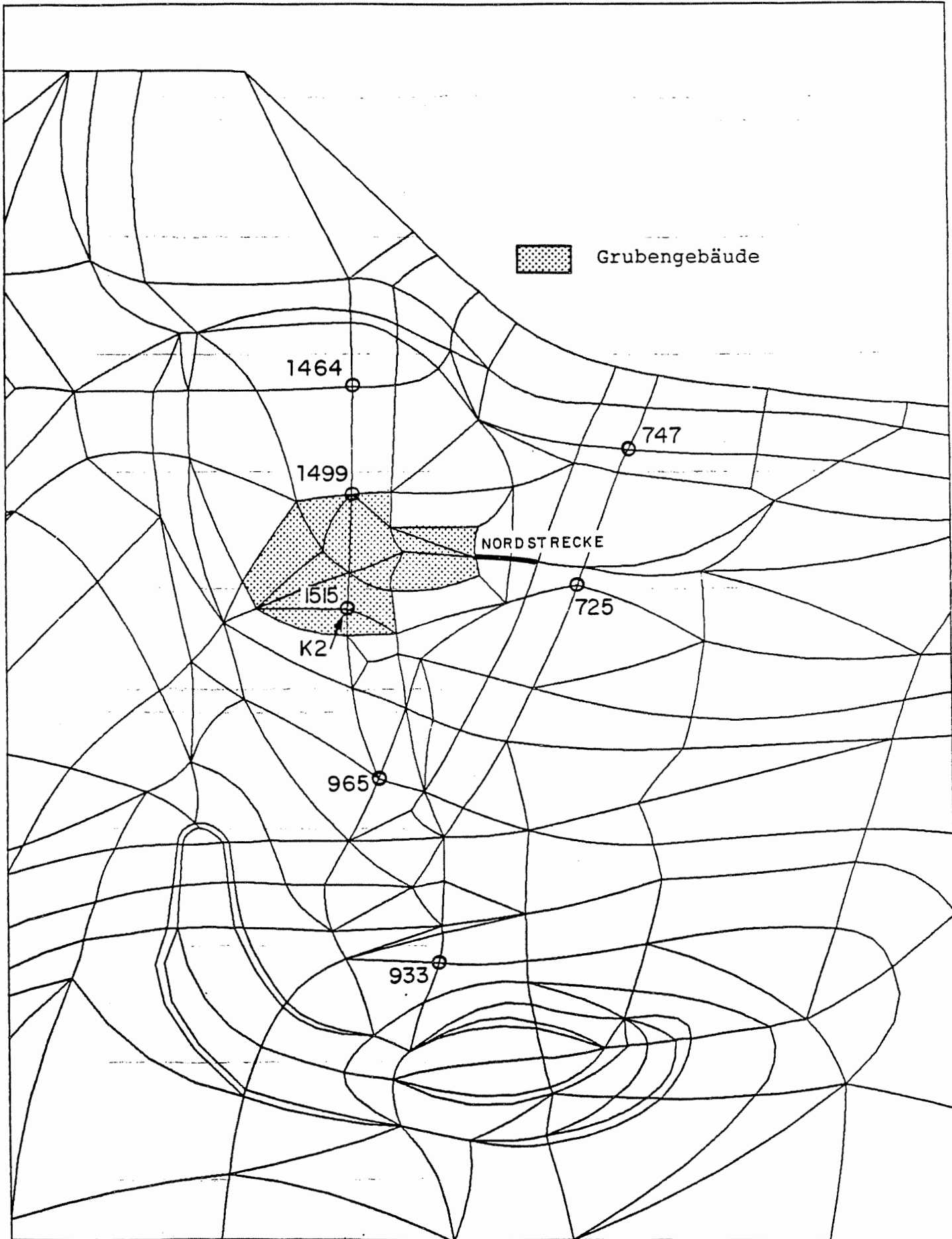


Abb. 4-1 Elementnetz mit Lage der Vertikalprofile der hydraulischen Potentiale

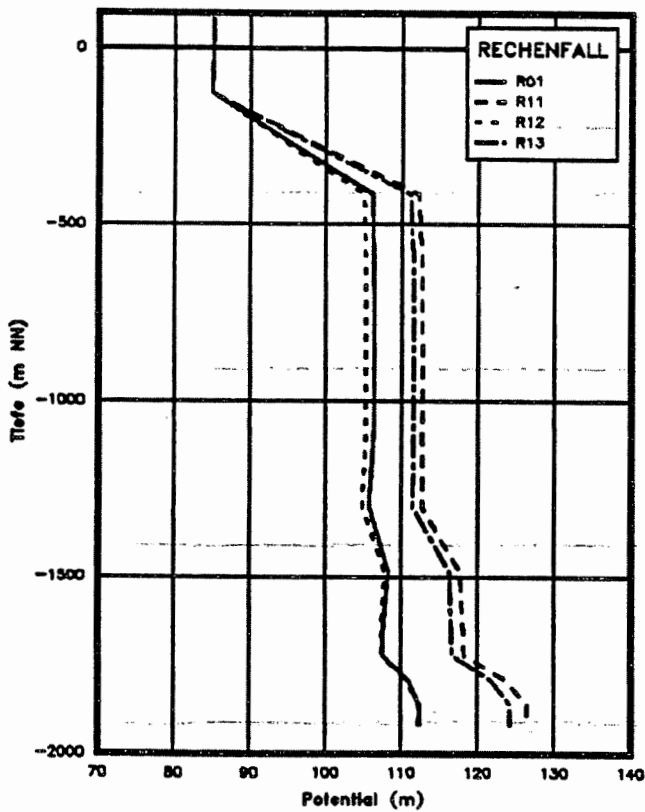
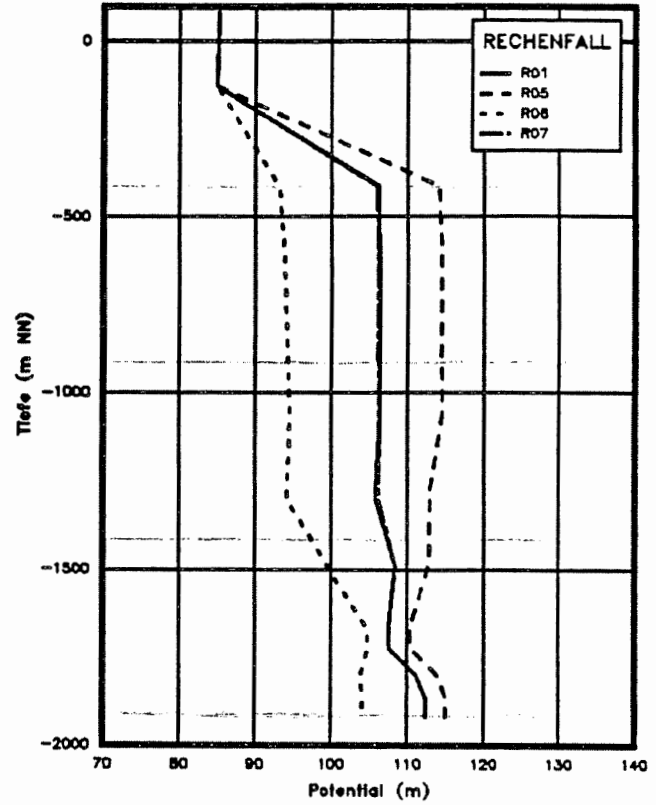
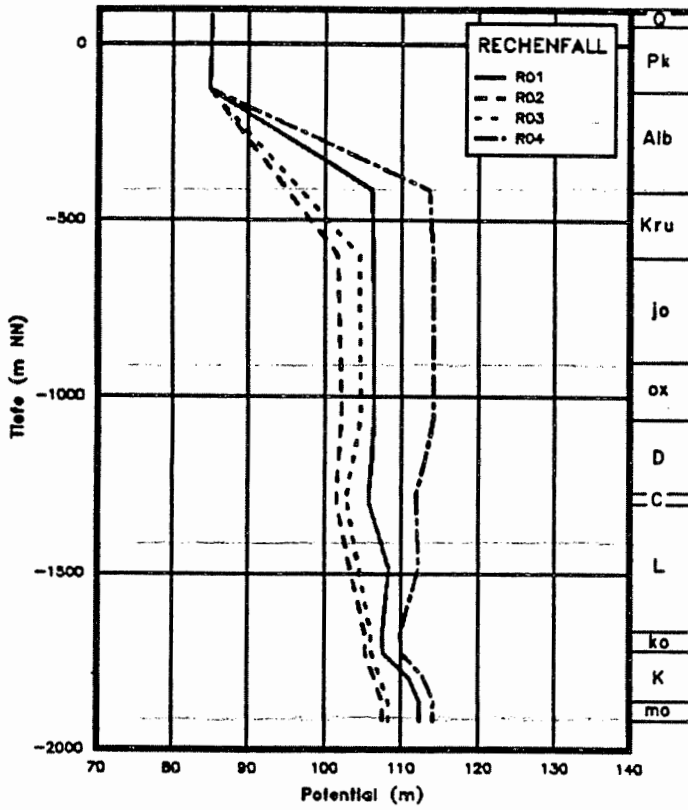


Abb. 4-2  
Rechenfälle R01 bis R07,  
R11 bis R13: Hydraulisches  
Potential als Funktion der  
Tiefe. Vertikalprofil am  
Ort 725

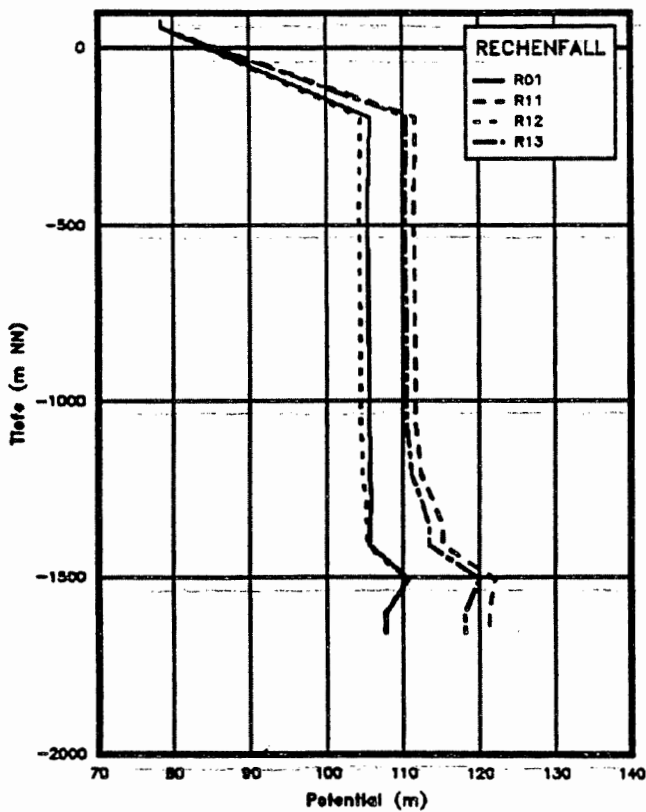
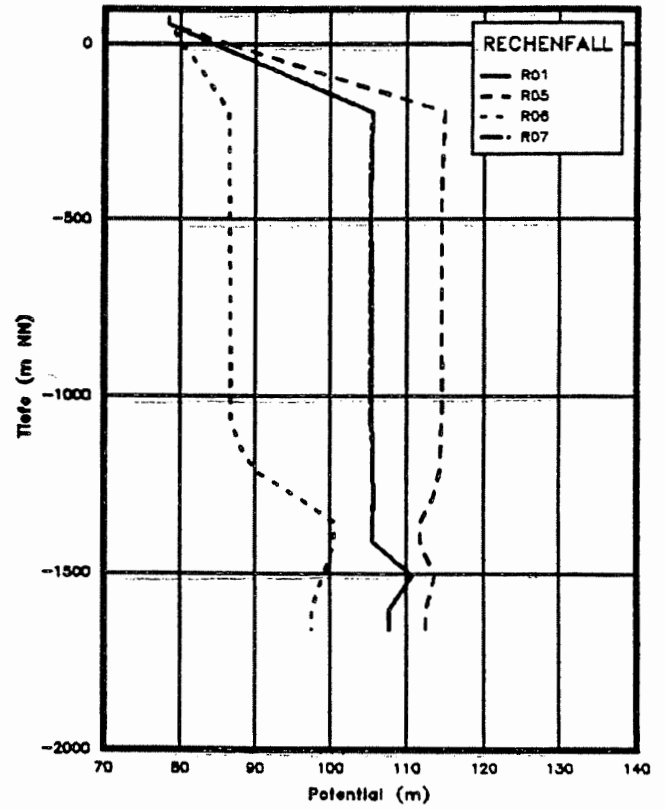
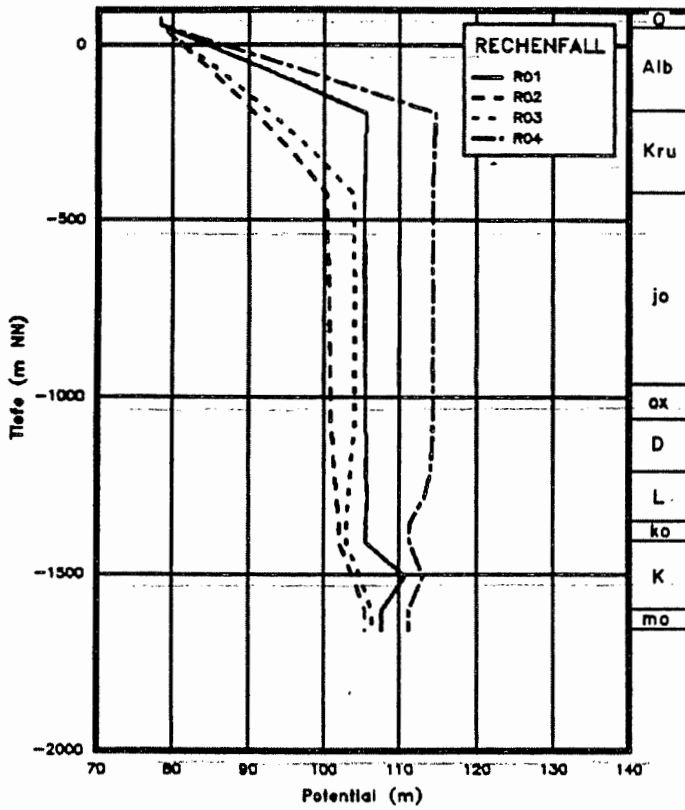


Abb. 4-3  
Rechenfälle R01 bis R07,  
R11 bis R13: Hydraulisches  
Potential als Funktion der  
Tiefe. Vertikalprofil am  
Ort 747

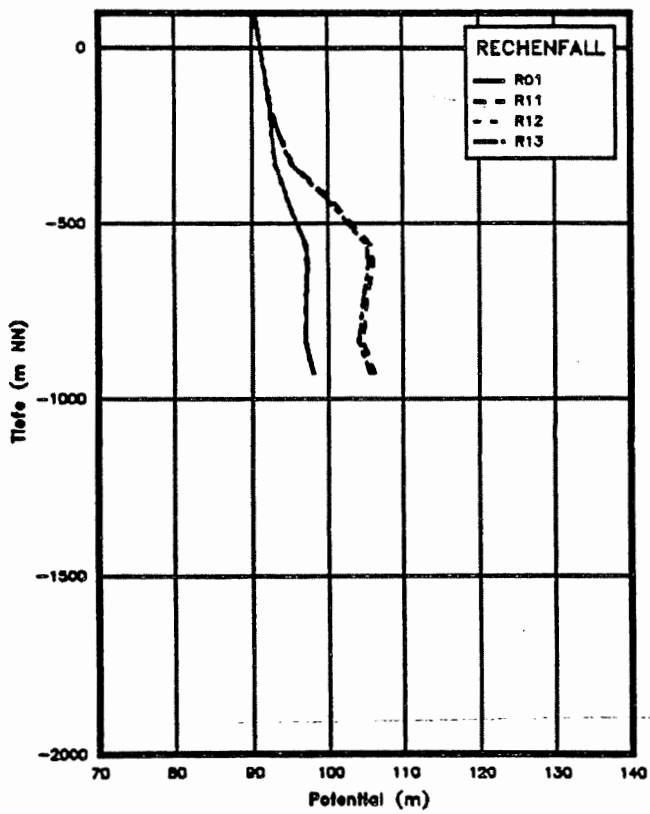
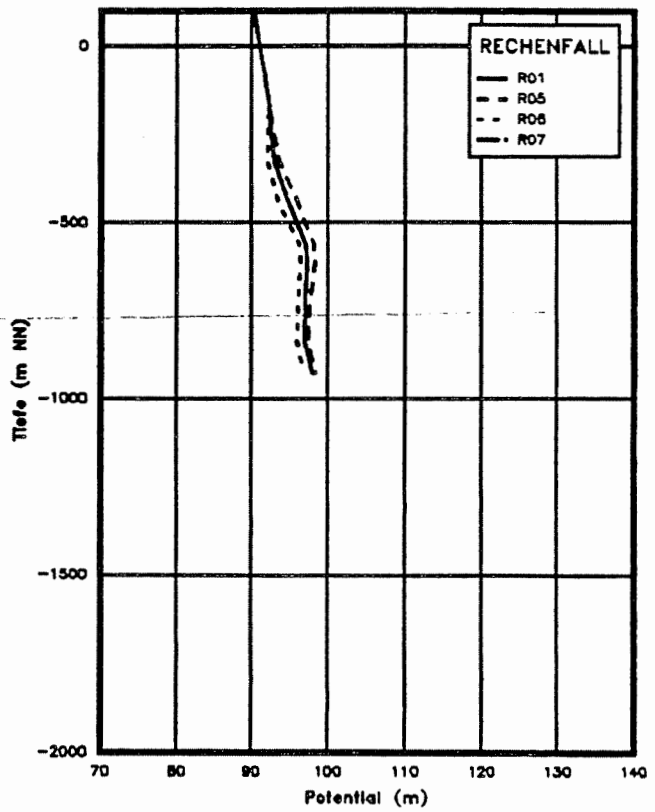
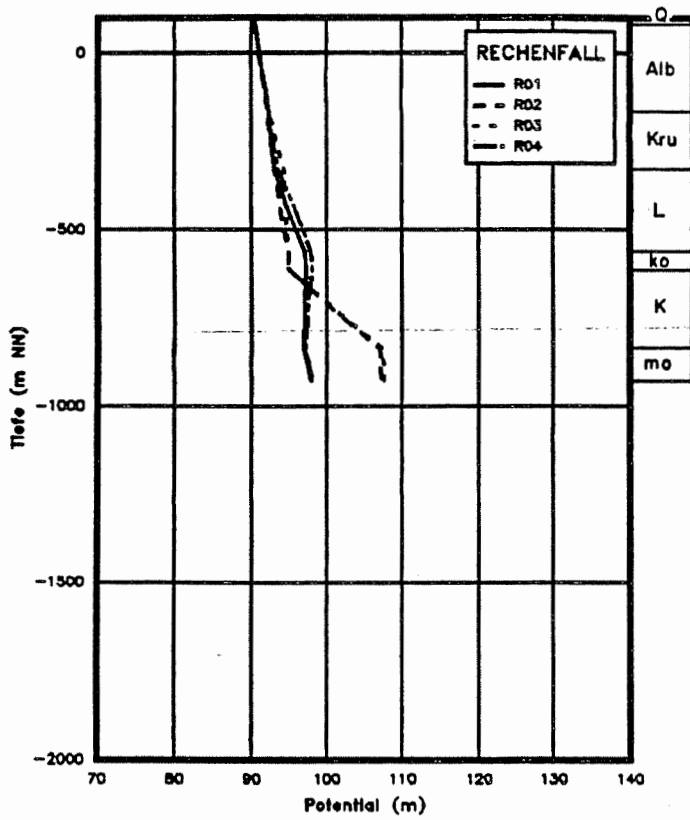


Abb. 4-4  
Rechenfälle R01 bis R07,  
R11 bis R13: Hydraulisches  
Potential als Funktion der  
Tiefe. Vertikalprofil am  
Ort 933

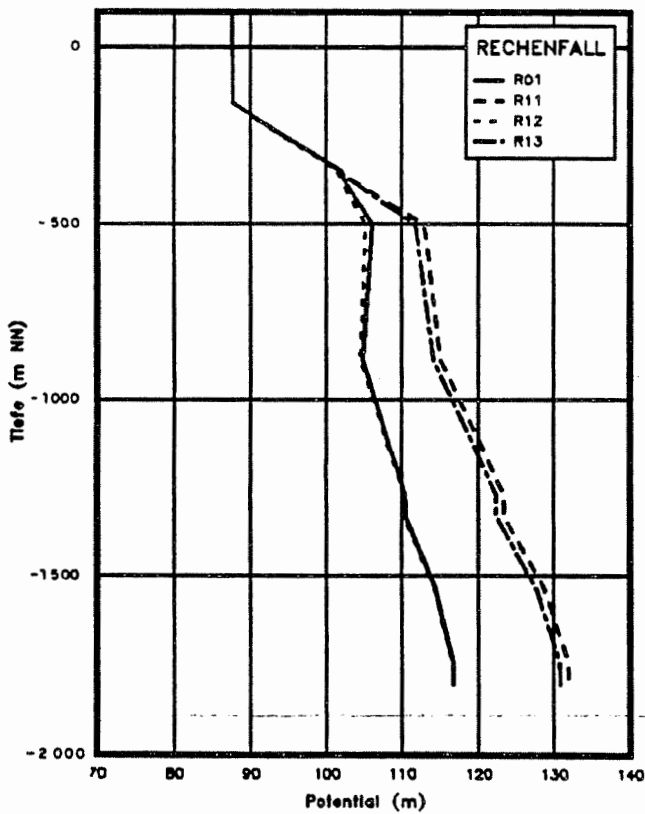
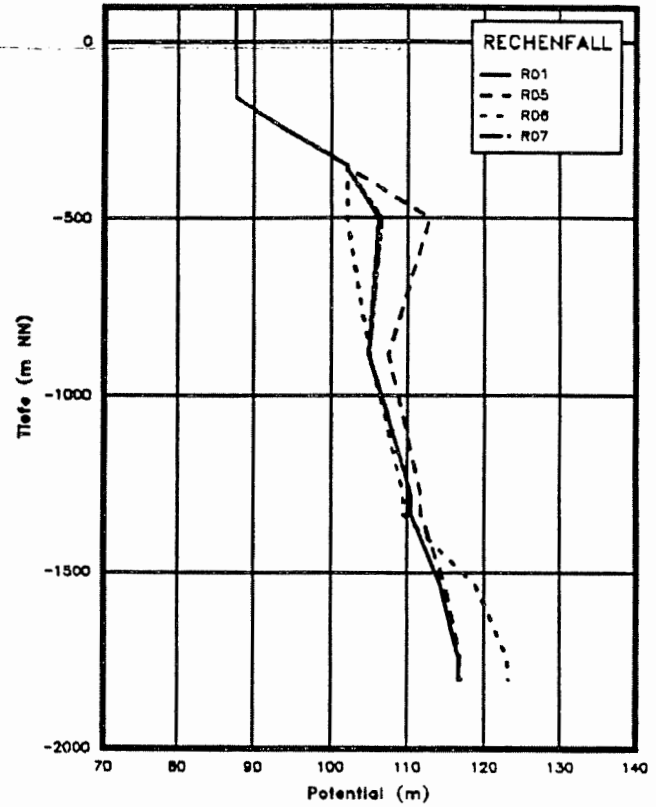
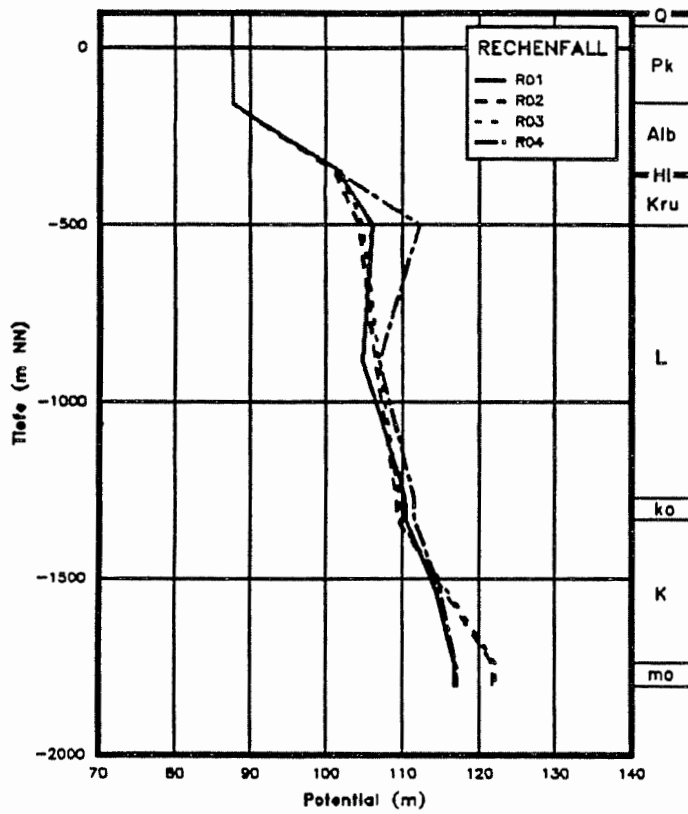


Abb. 4-5  
Rechenfälle R01 bis R07,  
R11 bis R13: Hydraulisches  
Potential als Funktion der  
Tiefe. Vertikalprofil am  
Ort 965

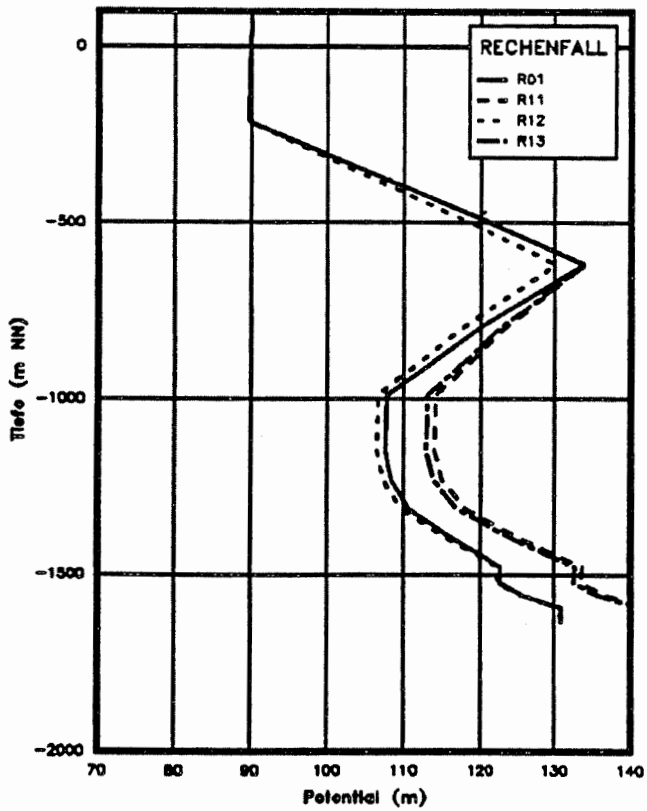
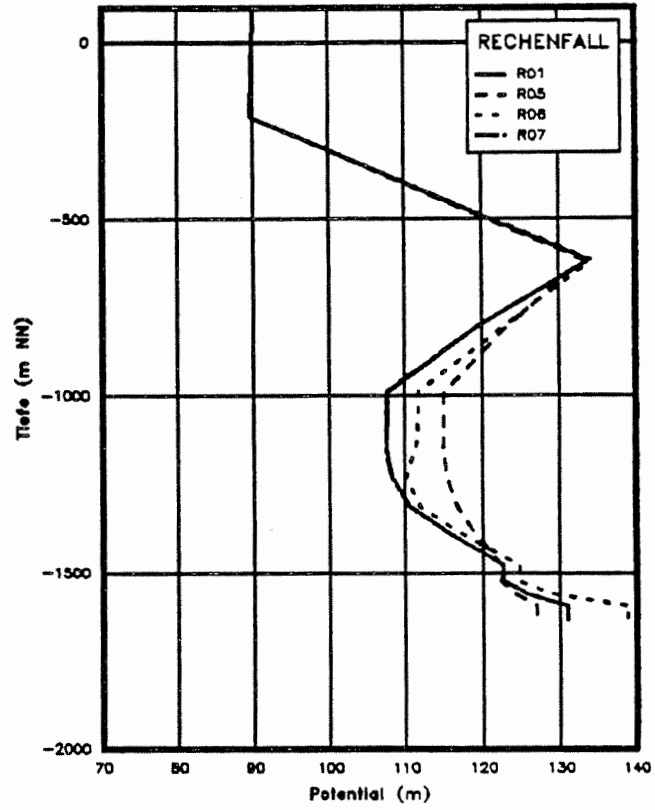
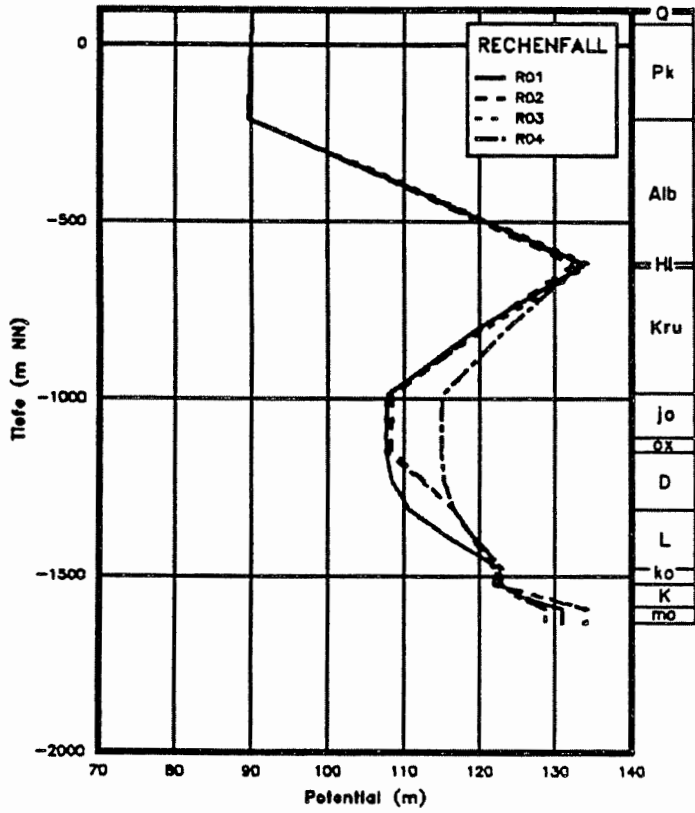


Abb. 4-6  
Rechenfälle R01 bis R07,  
R11 bis R13: Hydraulisches  
Potential als Funktion der  
Tiefe. Vertikalprofil am  
Ort 1464

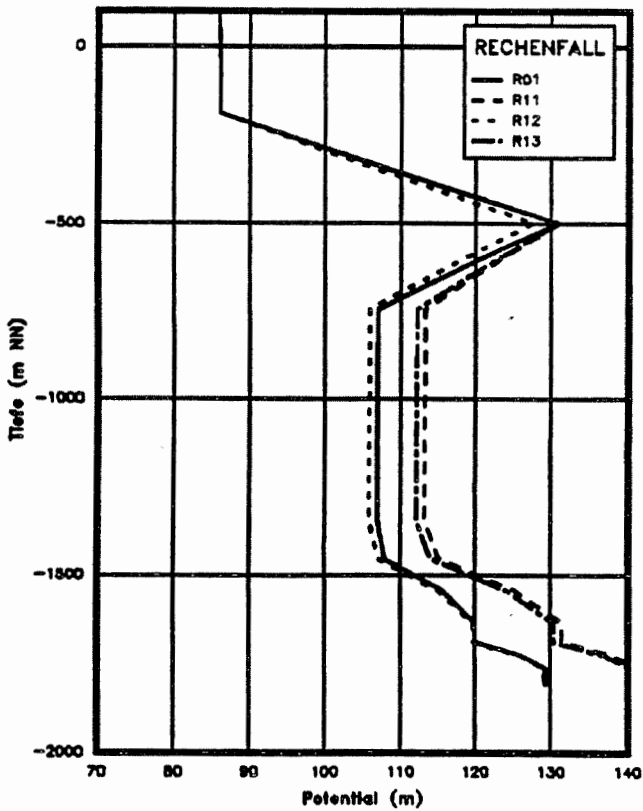
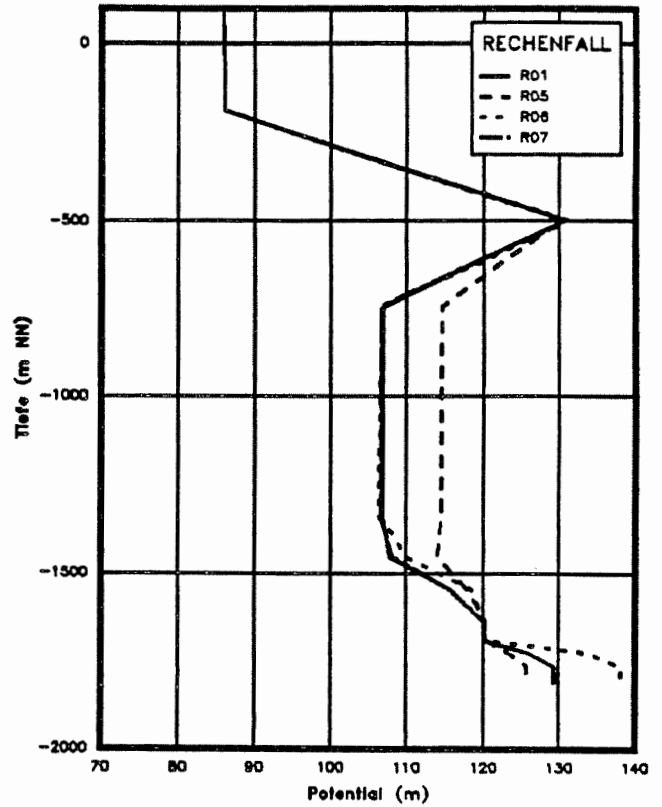
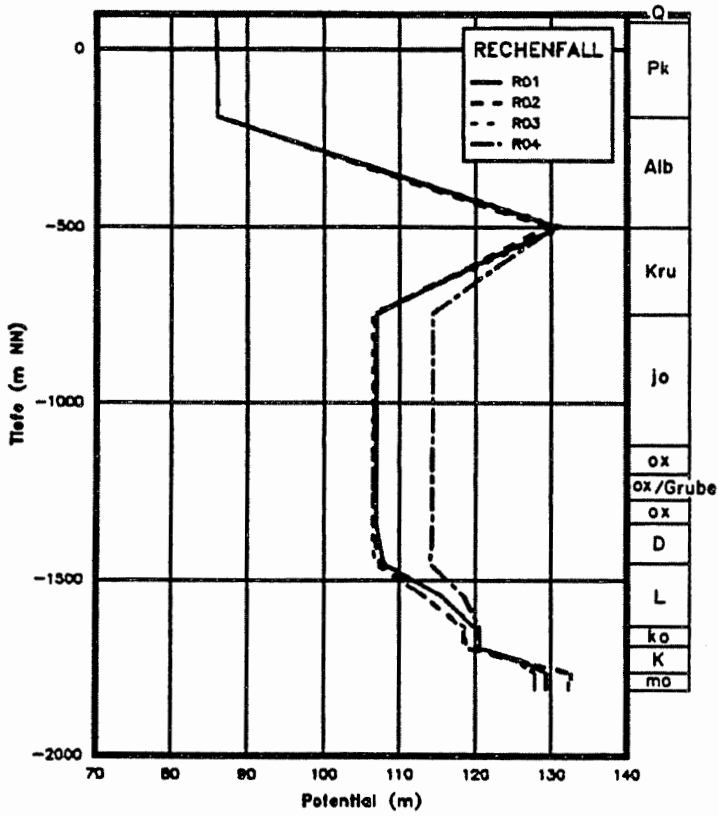


Abb. 4-7  
Rechenfälle R01 bis R07,  
R11 bis R13: Hydraulisches  
Potential als Funktion der  
Tiefe. Vertikalprofil am  
Ort 1499



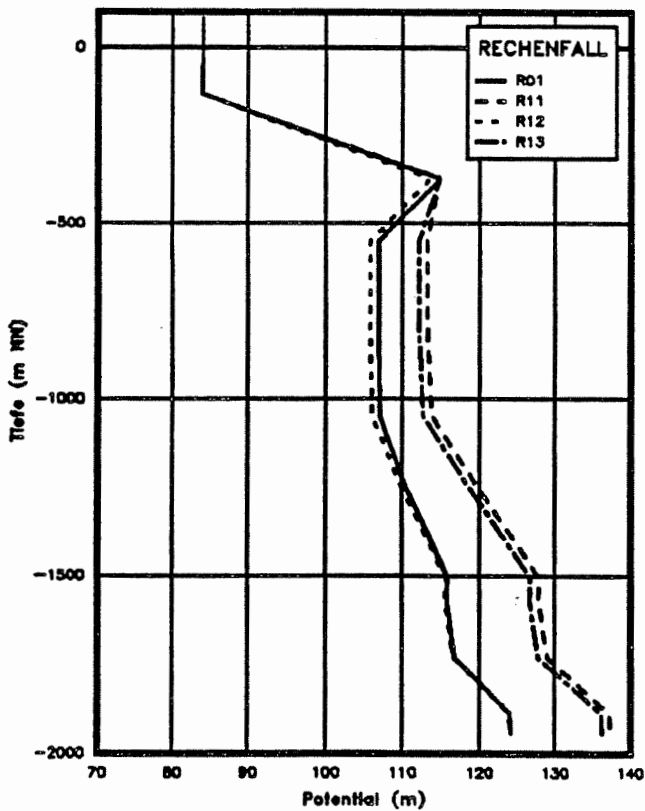
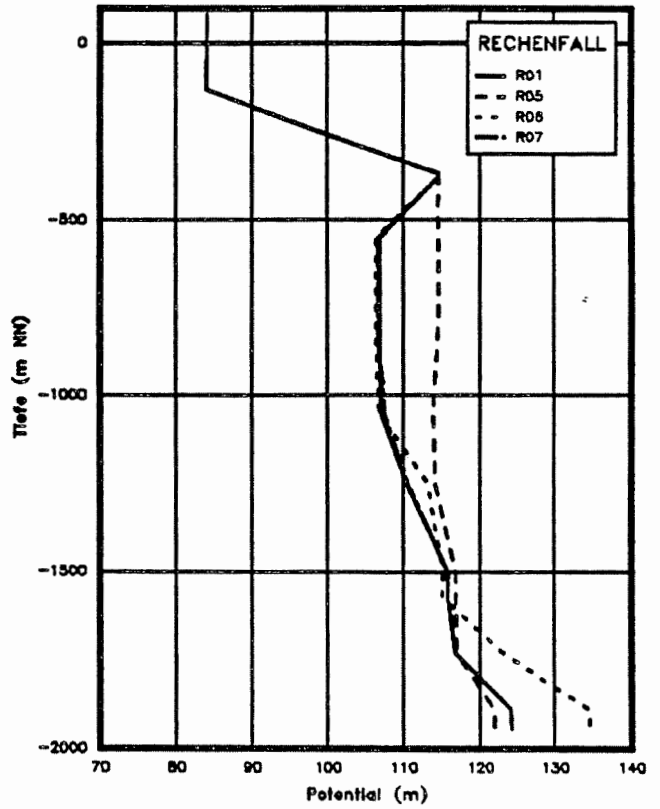
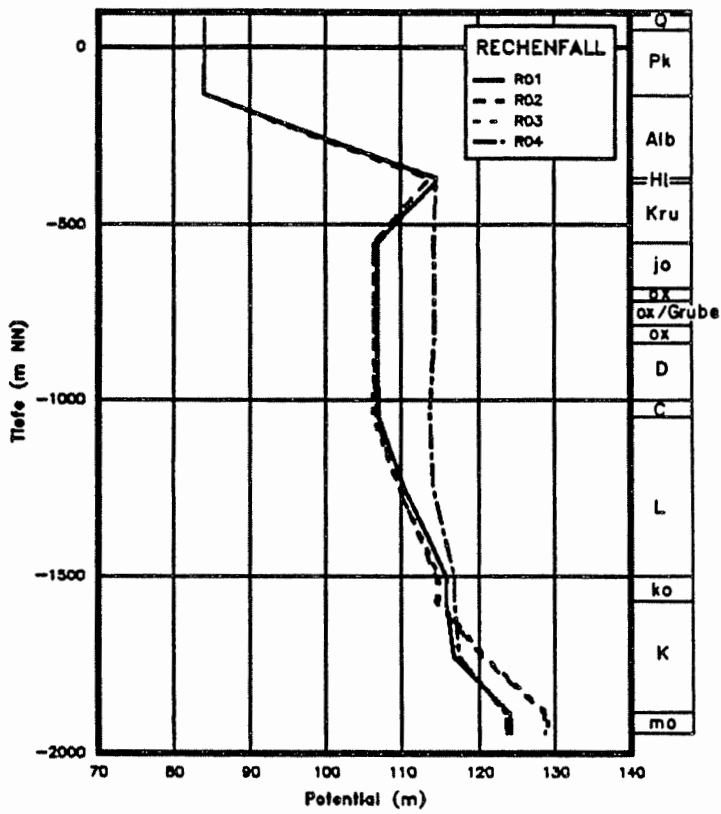


Abb. 4-8  
 Rechenfälle R01 bis R07,  
 R11 bis R13: Hydraulisches  
 Potential als Funktion der  
 Tiefe. Vertikalprofil am  
 Ort 1515

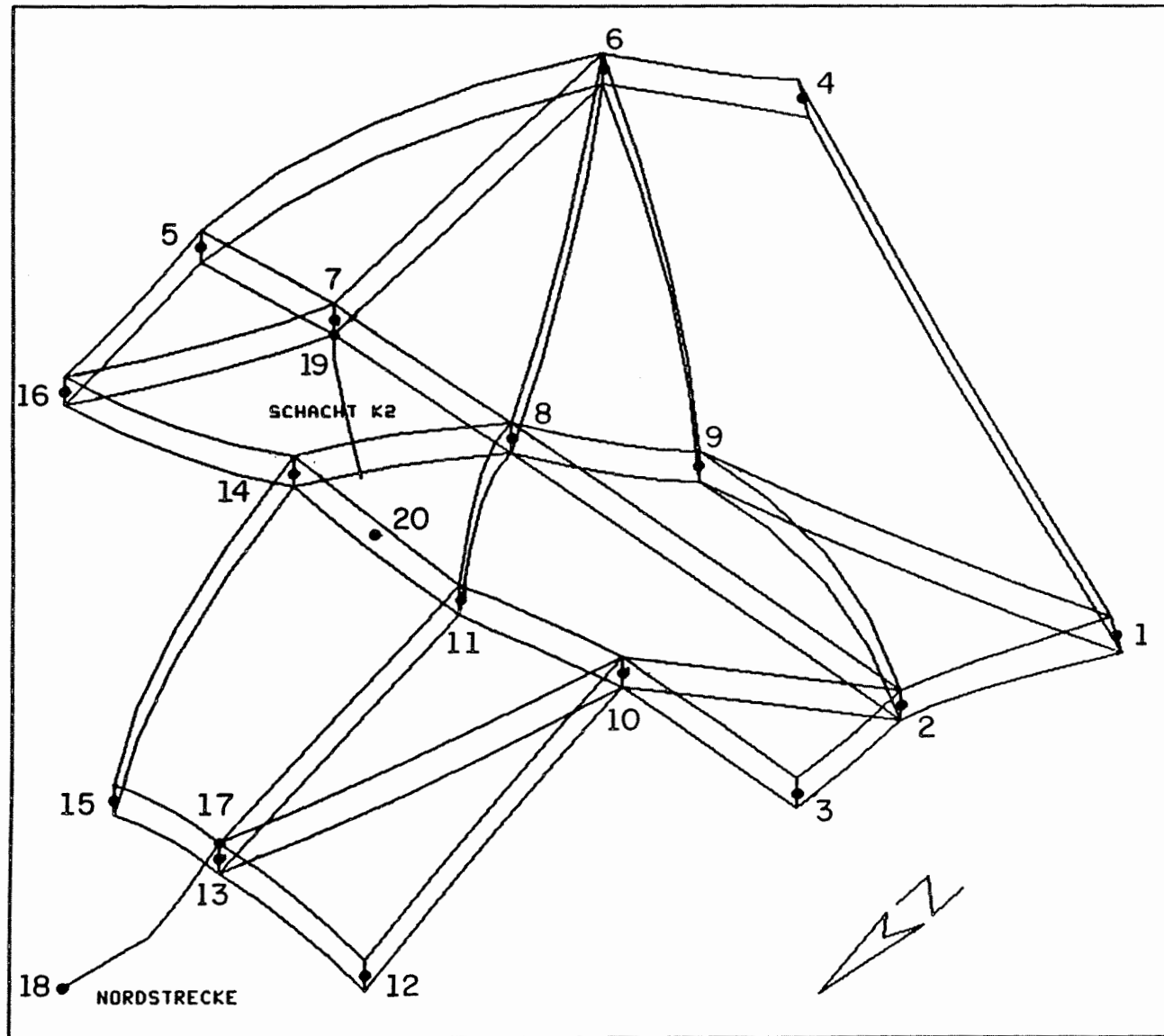
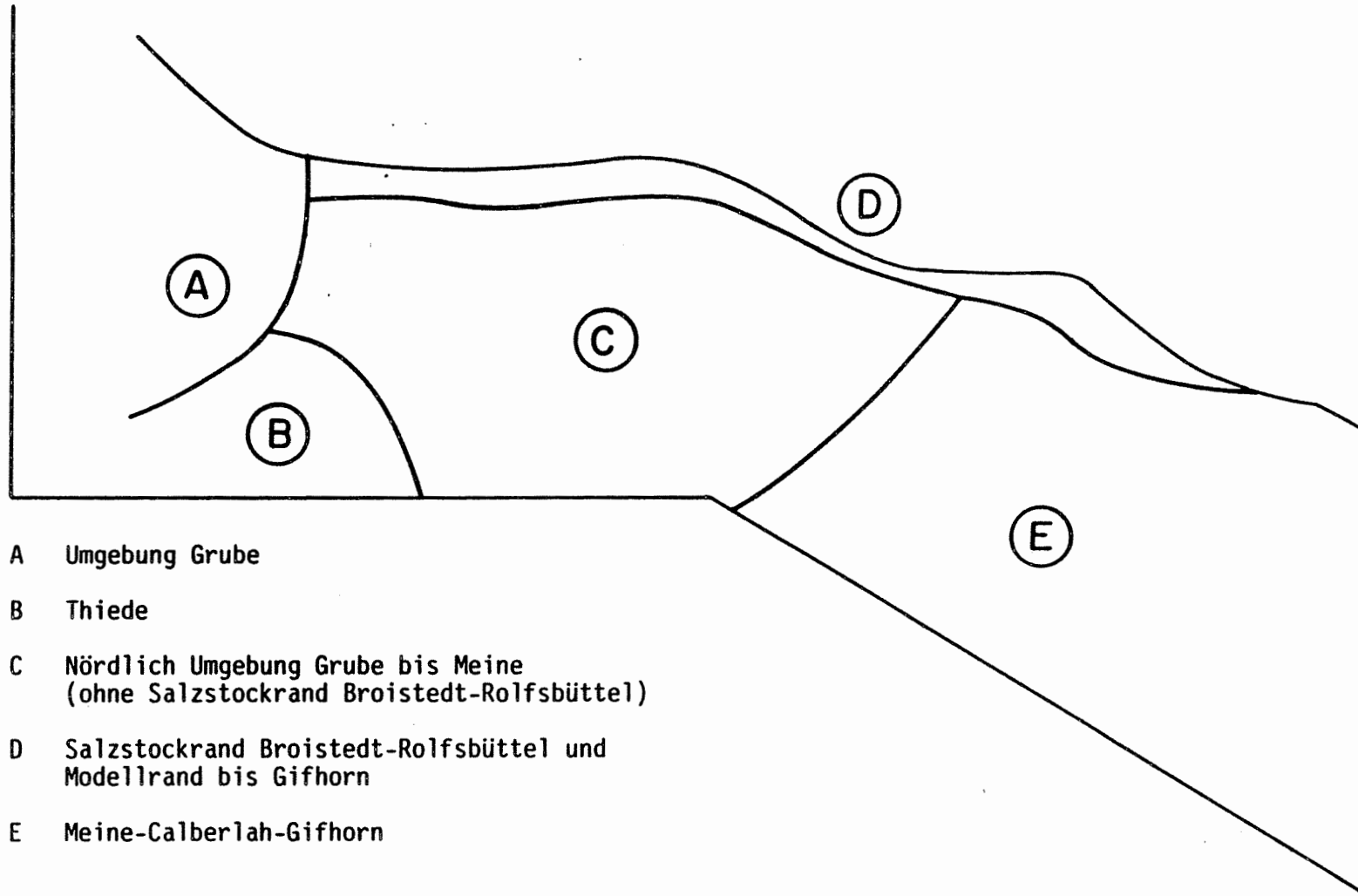
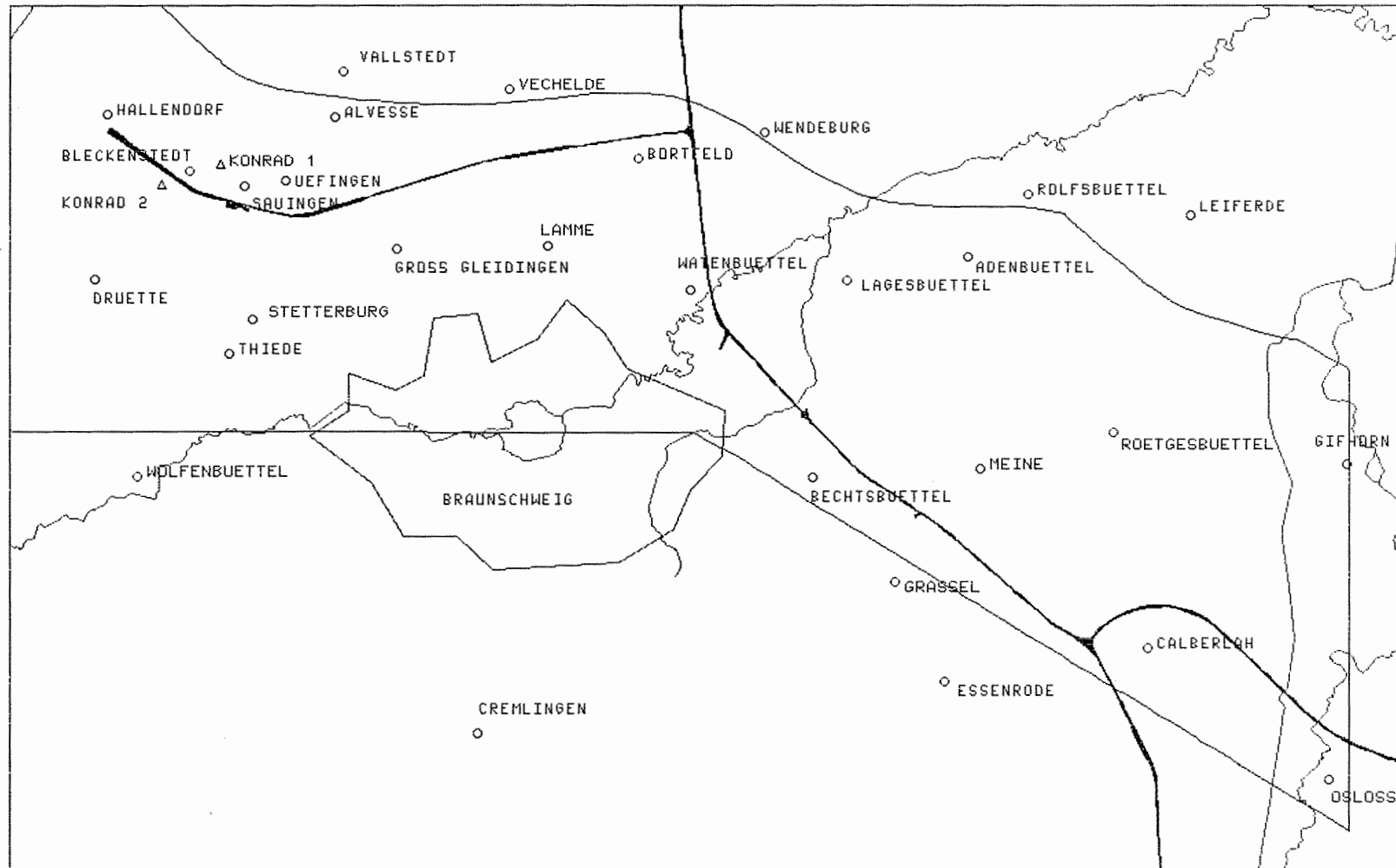


Abb. 4-9  
 Grubengebäude mit  
 Startpunkten der  
 Fließwege



- A Umgebung Grube
- B Thiede
- C Nördlich Umgebung Grube bis Meine  
(ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsbüttel)
- D Salzstockrand Broistedt-Rolfsbüttel und  
Modellrand bis Gifhorn
- E Meine-Calberlah-Gifhorn

Abb. 4-10  
Gebietseinteilung zur Charakterisierung der Endpunkte der Fließwege



**Abb. 4-11 Folie mit Geographie**  
**(Massstab: wie Grundrisse der Fliesswege, Anhang C)**

**MOTOR COLUMBUS INGENIEURUNTERNEHMUNG AG  
BADEN/SCHWEIZ**

KONRAD  
EU  
210

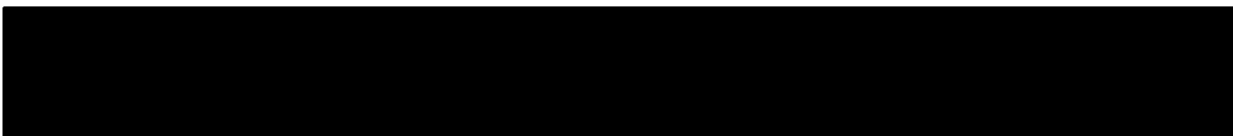
## **SCHACHTANLAGE KONRAD, SALZGITTER**

**Modellrechnungen mit dem Programm FEM301  
für ein alternatives  
geologisches/hydrogeologisches Modell**

**Auftrags-Nr. 9K 352126.39**

## **SCHLUSSBERICHT Band III: Anhang A und B**

15. November 1988



Der Bericht wurde im Auftrag der PHYSIKALISCH TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

## INHALTSVERZEICHNIS

### ANHANG A

Hydrogeologische Schnitte  
y=1 bis y=30  
x=1S bis x=15S  
x=1N bis x=15N

### ANHANG B

Modellschnitte mit hydrogeologischen Schicht-  
einheiten und Störzonen

B1	Schnitt 1
B2	Schnitt 2
B3	Schnitt 3
B4	Schnitt 4
B5	Schnitt 5
B6	Schnitt 6
B7	Schnitt 7
B8	Schnitt 8
B9	Schnitt 9
B10	Schnitt 10
B11	Schnitt 12
B12	Schnitt 13
B13	Schnitt 14
B14	Schnitt 15
B15	Schnitt 16
B16	Schnitt 17
B17	Schnitt 18
B18	Schnitt 19

## ANHANG A


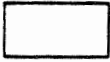

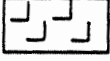

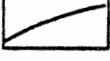

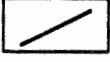
### HYDROGEOLOGISCHE SCHNITTE

y=1 bis y=30  
x=1S bis x=15S  
x=1N bis x=15N

Uebernommen aus Dok. [35]

Die Schnitte x=6S, x=8S, x=9S, x=10S und y=7 sind im Gebiet des Westastes der Störzone a an jene des Dok. [28] (welche zusammen mit den Tiefenlinienplänen die Grundlage der Modellierung darstellen) angepasst worden. Sämtliche Störungen sind mit den im Bericht verwendeten Bezeichnungen versehen.

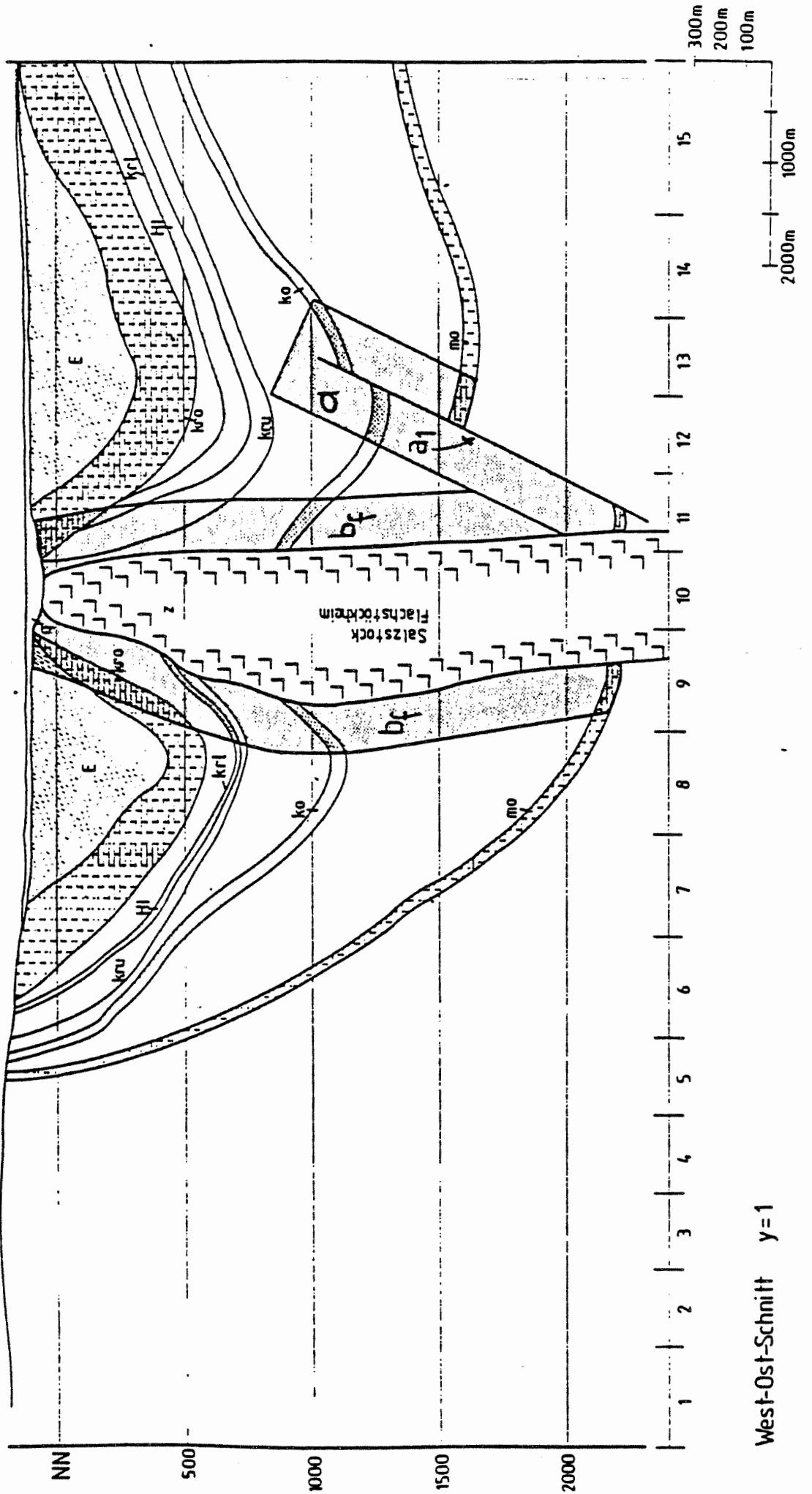
## LEGENDE

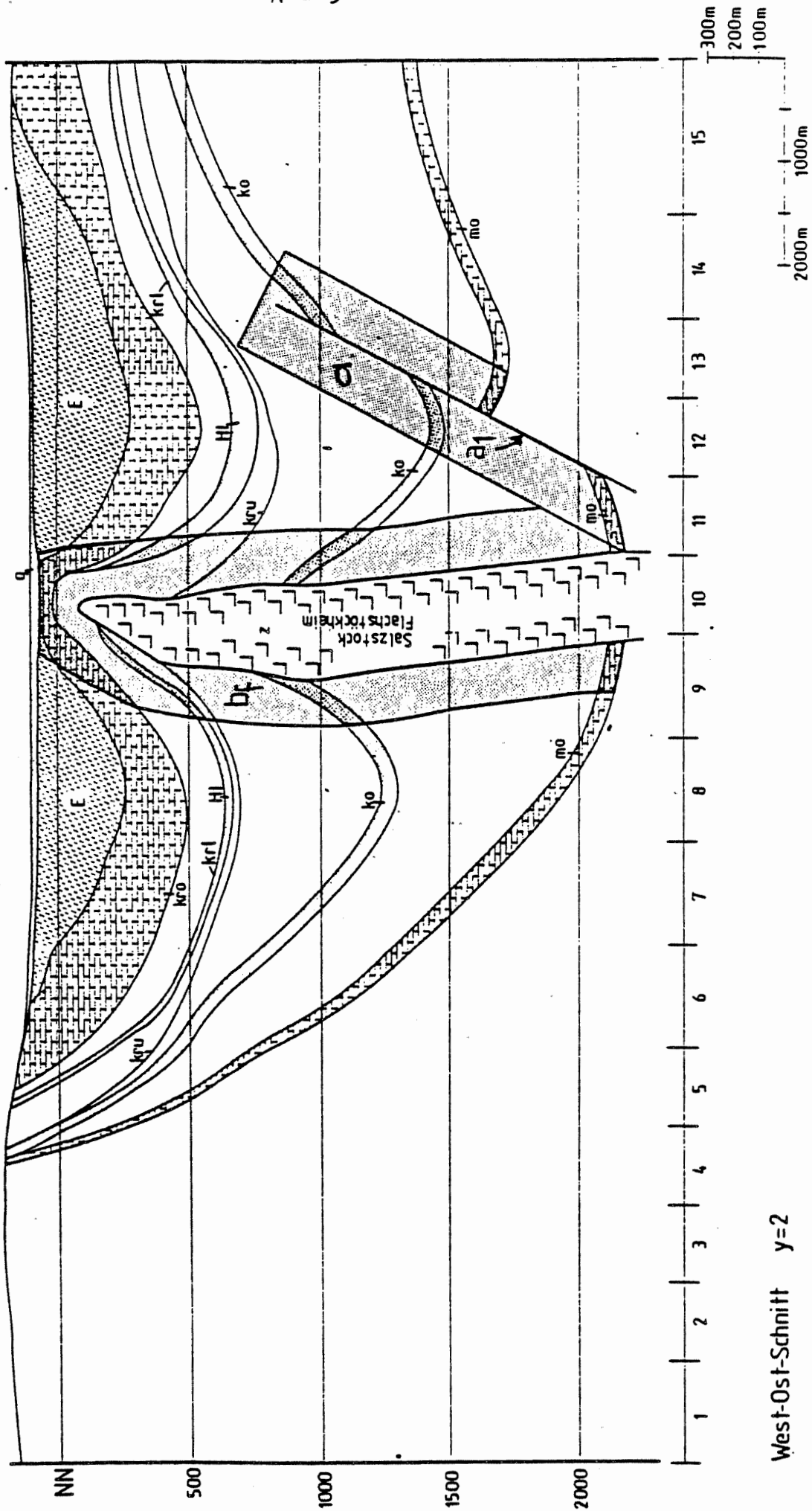
	Kalkstein		Ton
	Korallenoolith		Salzstock
	Sandstein		Schichtgrenze
	Mergel		Verwerfung

q	Quartär	jo	Kimmeridge , Portland z.T. Wealden
t	Tertiär	ox	Oxford
E	Emscher, Mergel	C	Cornbrash
kro	Oberkreide	ko	Rhät
krl	Alb	mo	Oberer Muschelkalk
HI	Hilssandstein	z	Zechstein
kru	Unterkreide		

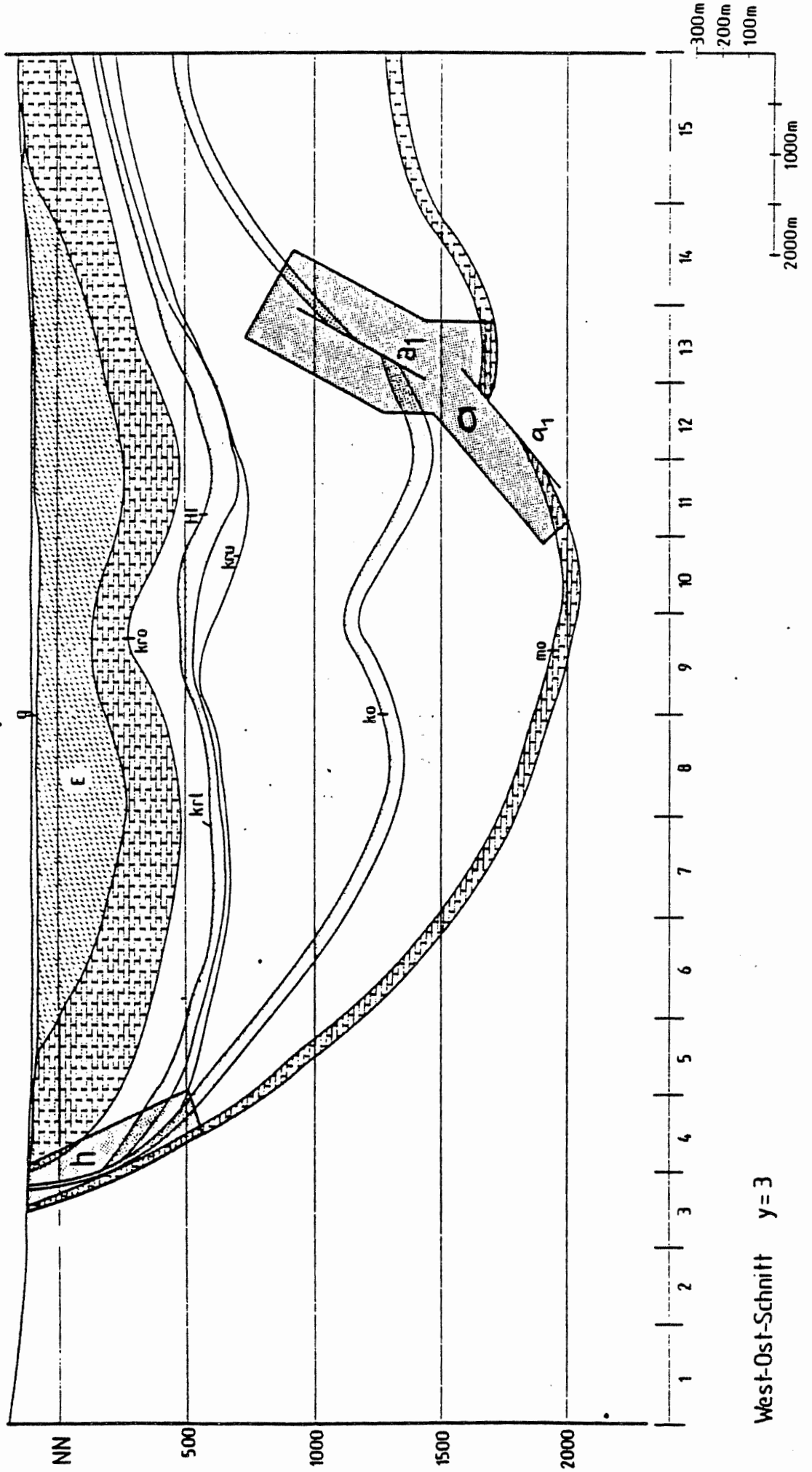
a	Immendorfer Störung
a <sub>w</sub>	westliche Begleitstörung
a <sub>e</sub>	östliche Begleitstörung
b	Salzstockflanke
c	Konrad - Graben
d	Störungen südlich des Konrad - Grabens
e	Störungszone bei Rhüme
e <sub>1</sub>	westliche Teilstörung
e <sub>2</sub>	östliche Teilstörung
g	Zone möglicher Verkarstung im Oxford
h	Störung am Salzgitter Höhenzug
i <sub>1</sub>	nordwestliche Begleitstörung
i <sub>2</sub>	nordöstliche Begleitstörung



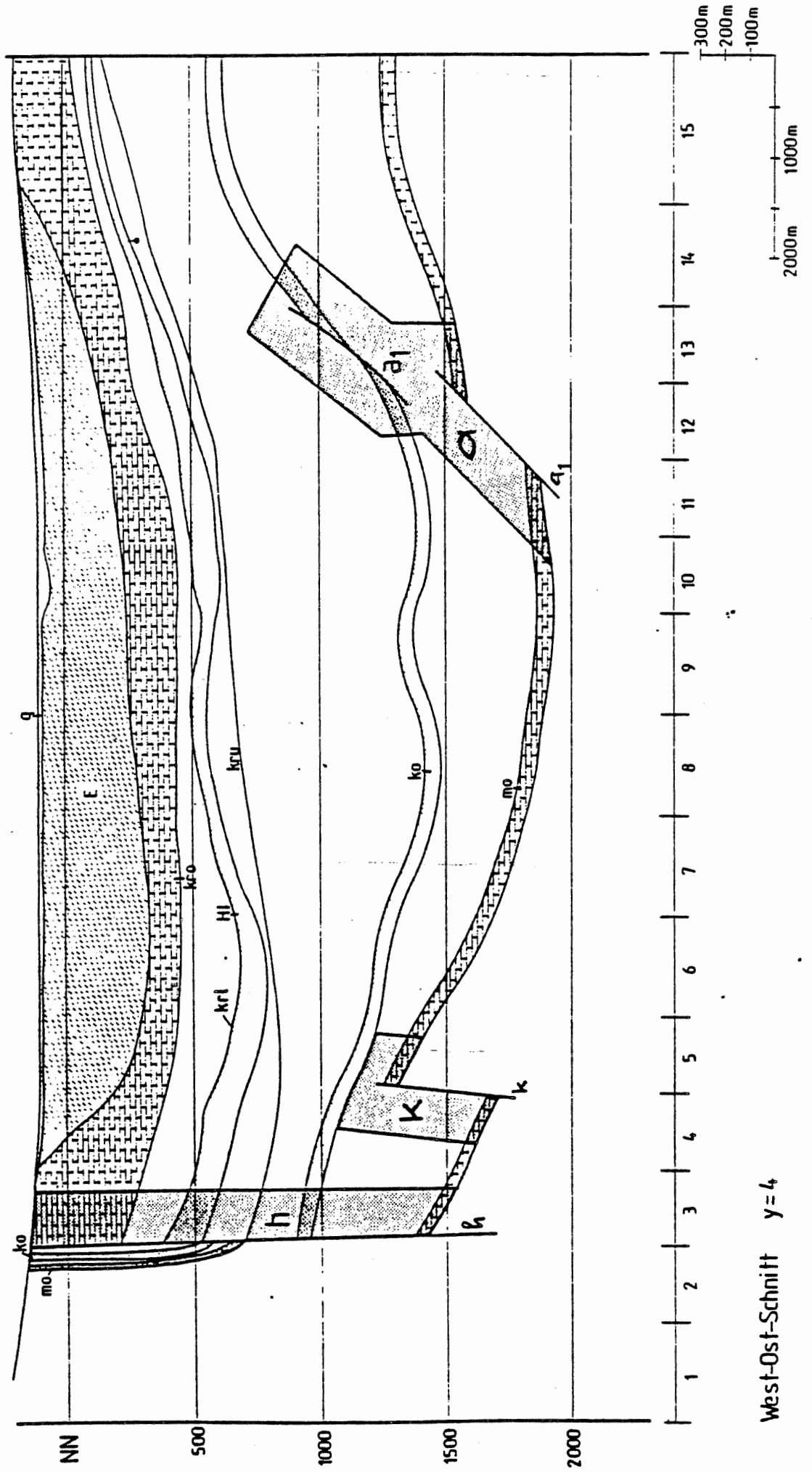




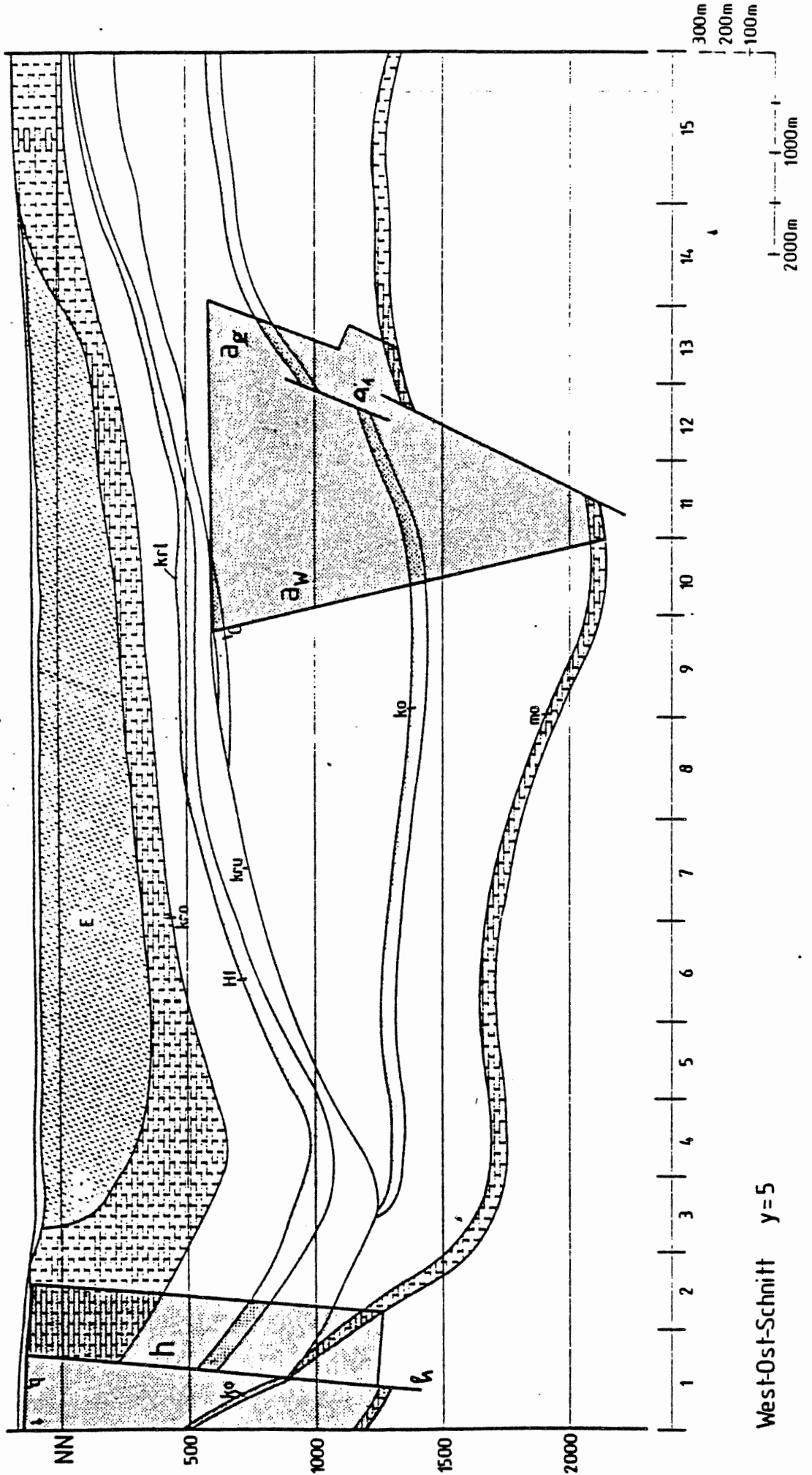
West-Ost-Schnitt y=2

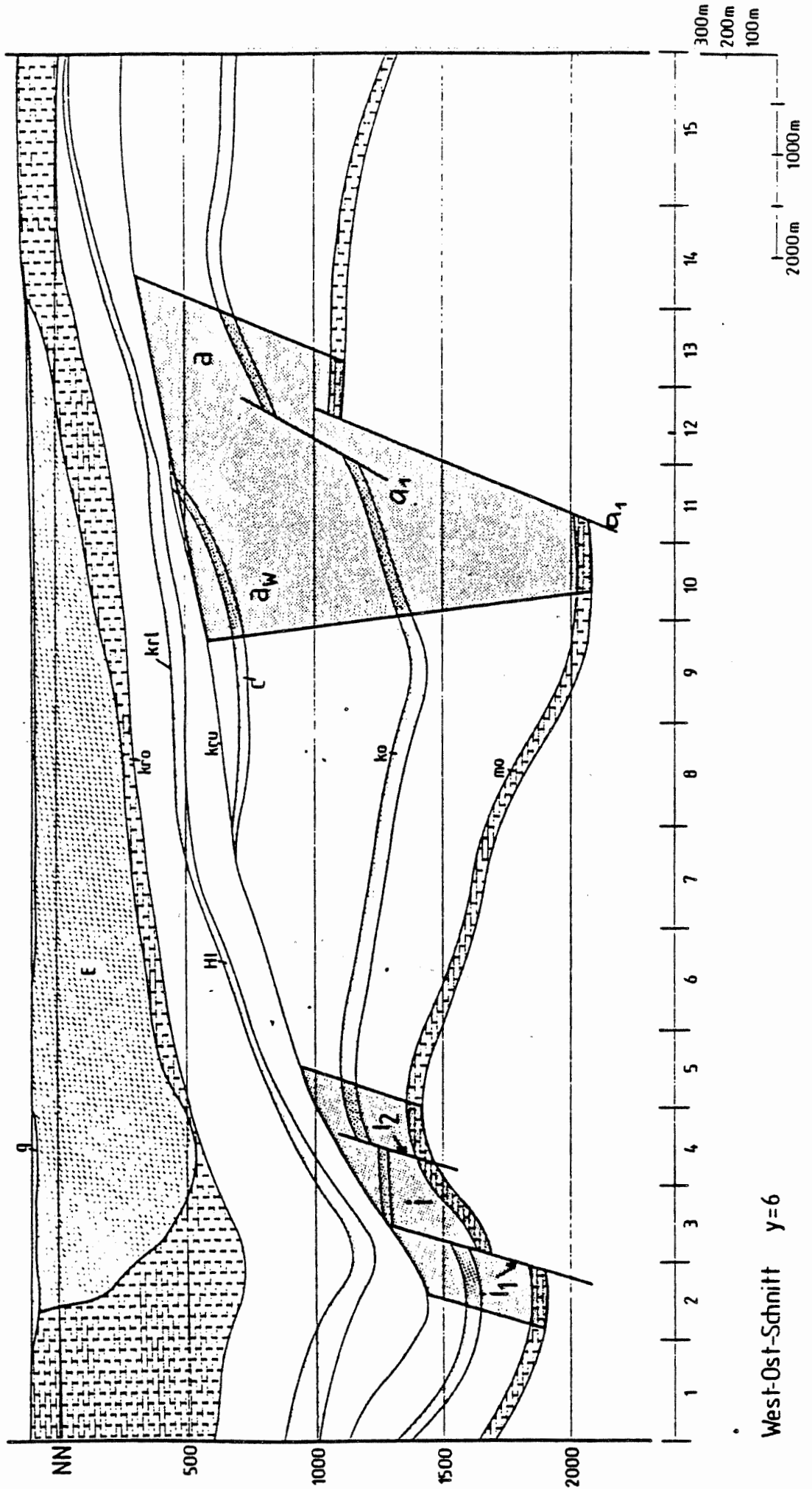


West-Ost-Schnitt y = 3

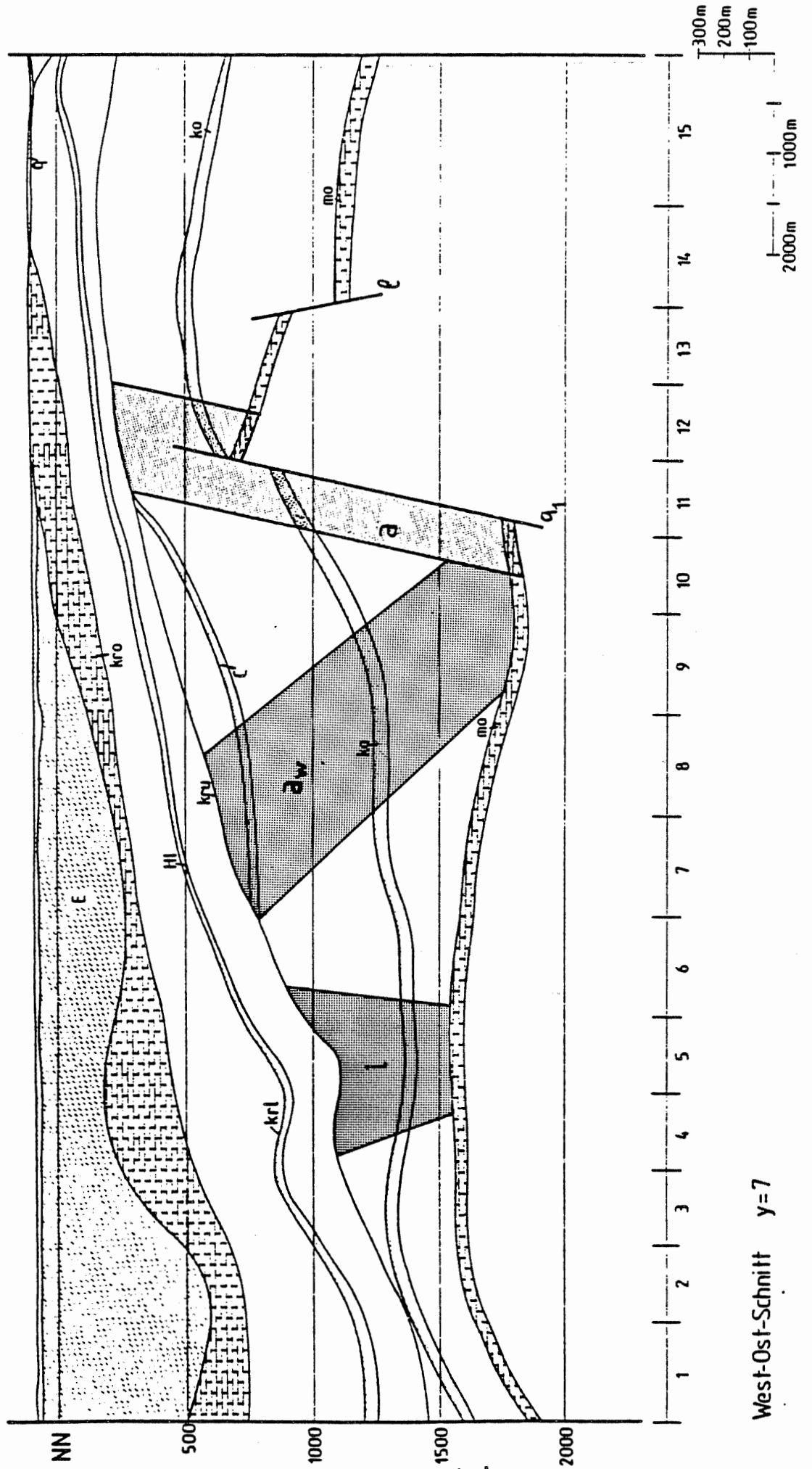


West-Ost-Schnitt y=4

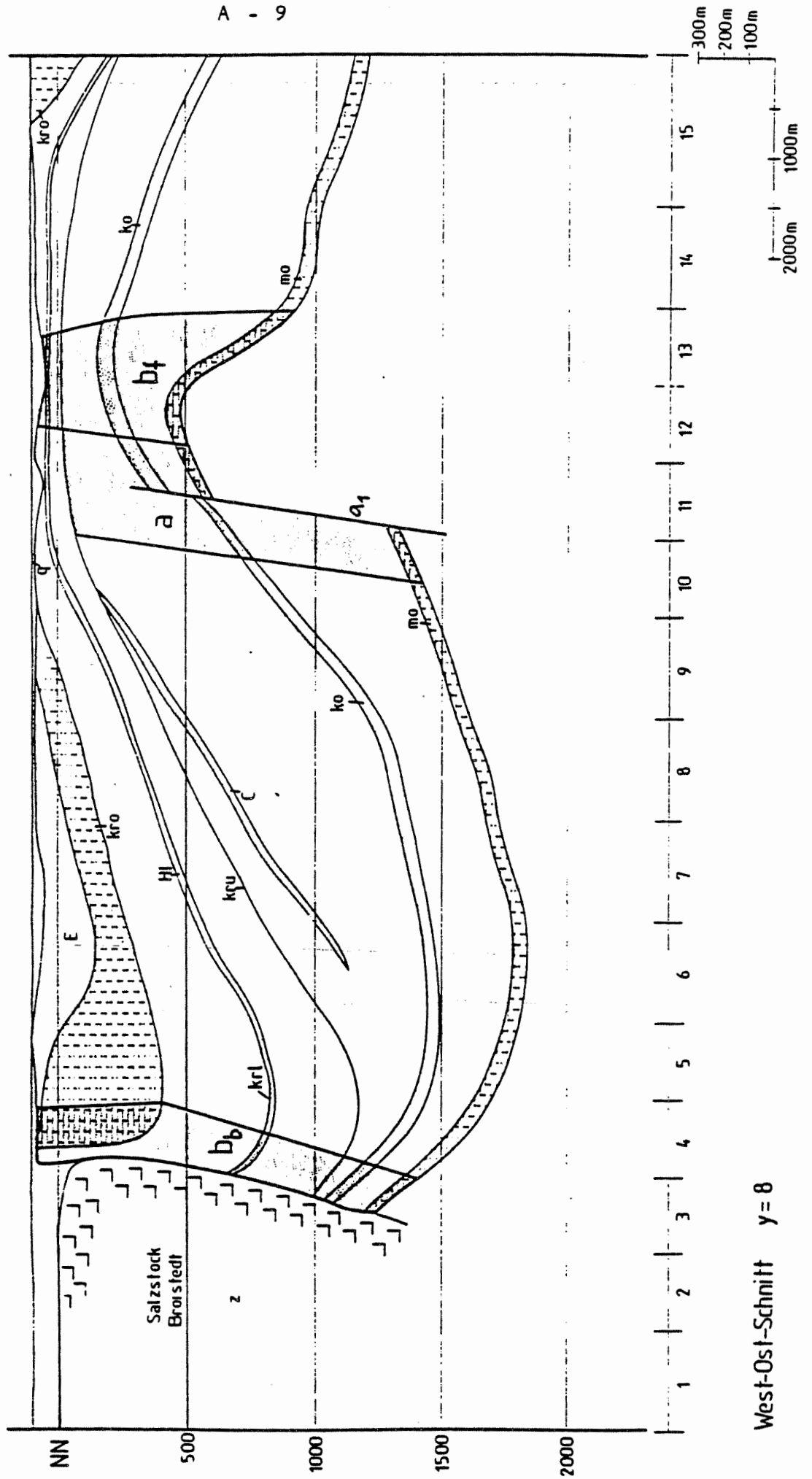




West-Ost-Schnitt y=6

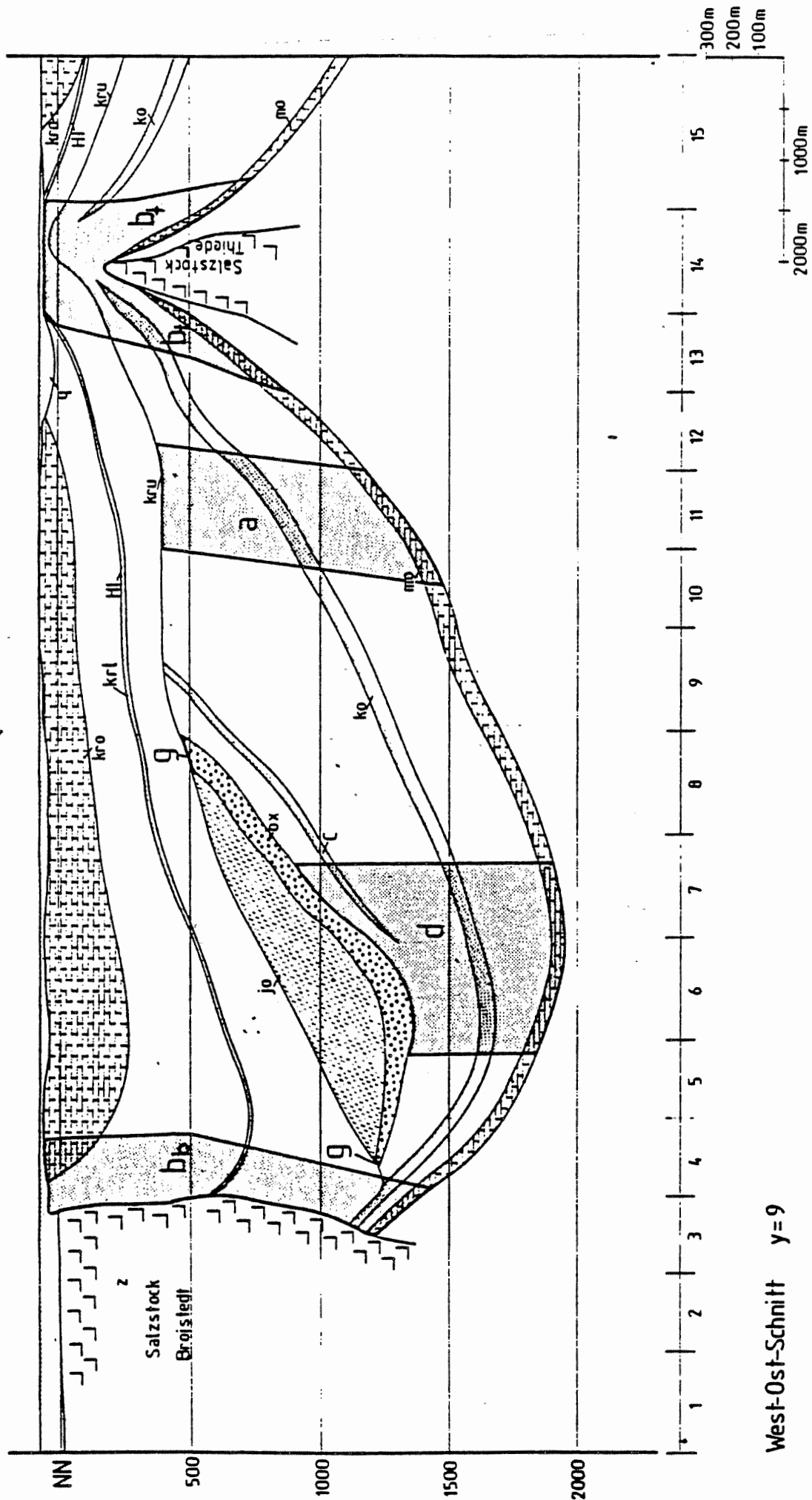


West-Ost-Schnitt y=7

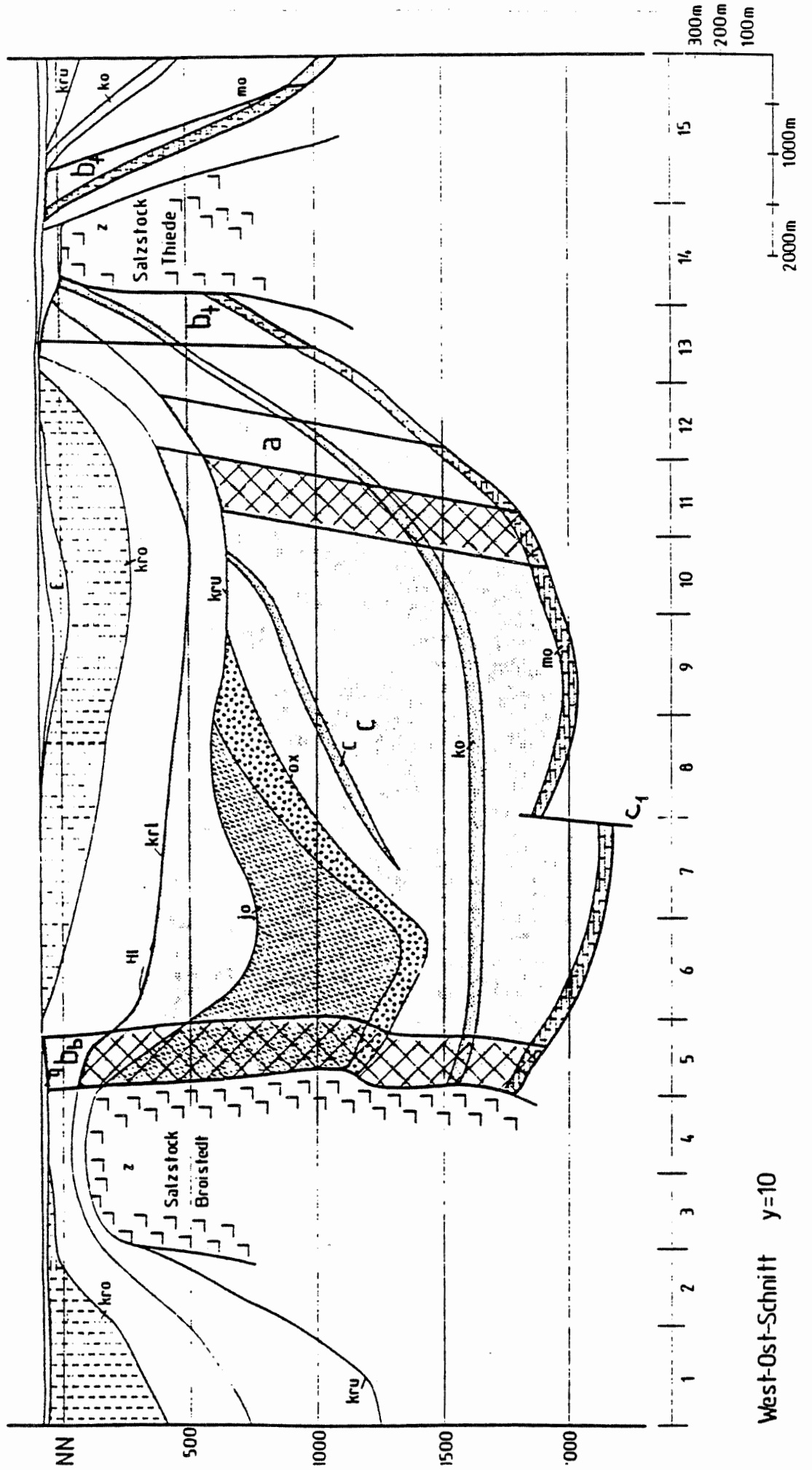


West-Ost-Schnitt y=8

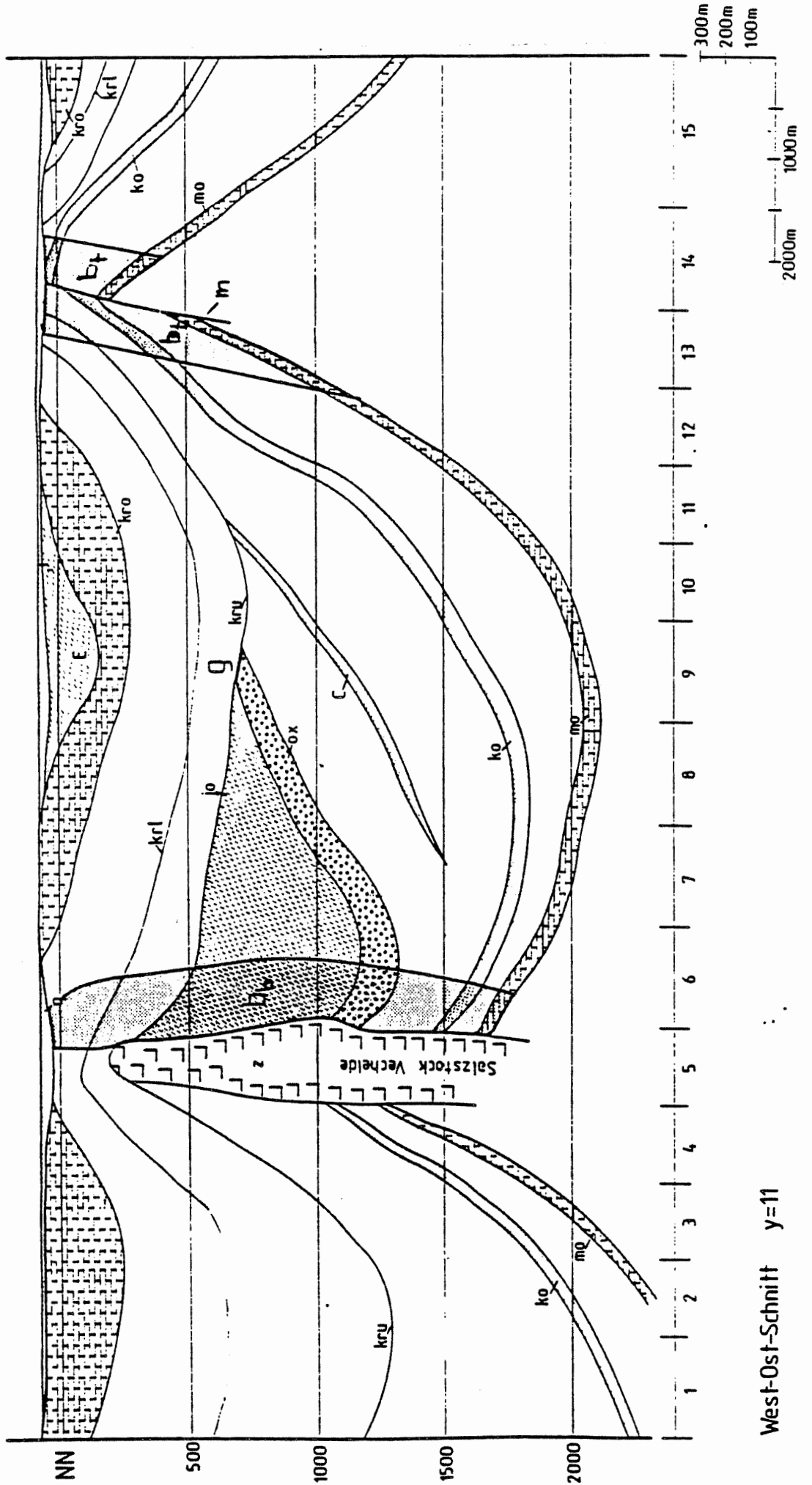




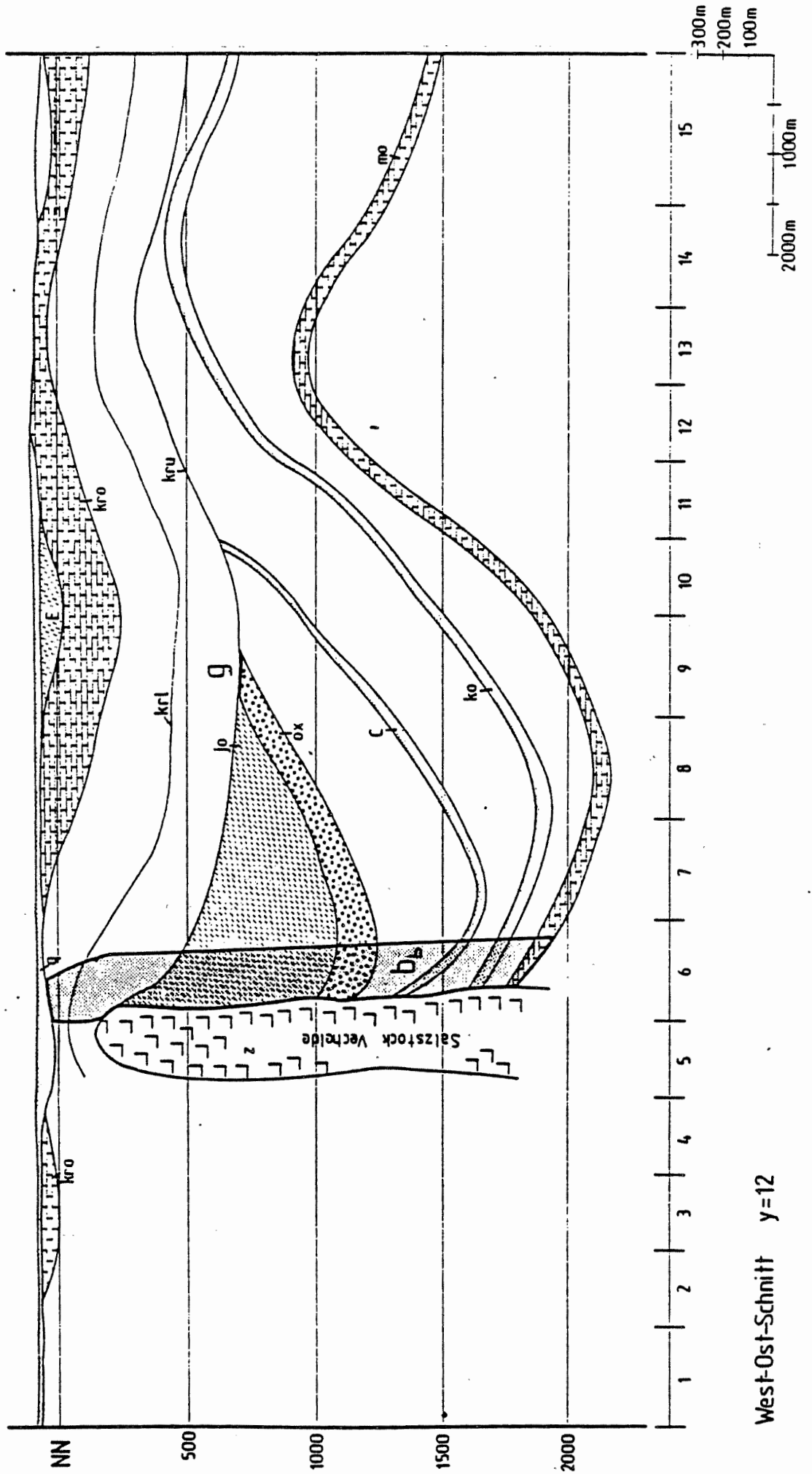
West-Ost-Schnitt y=9



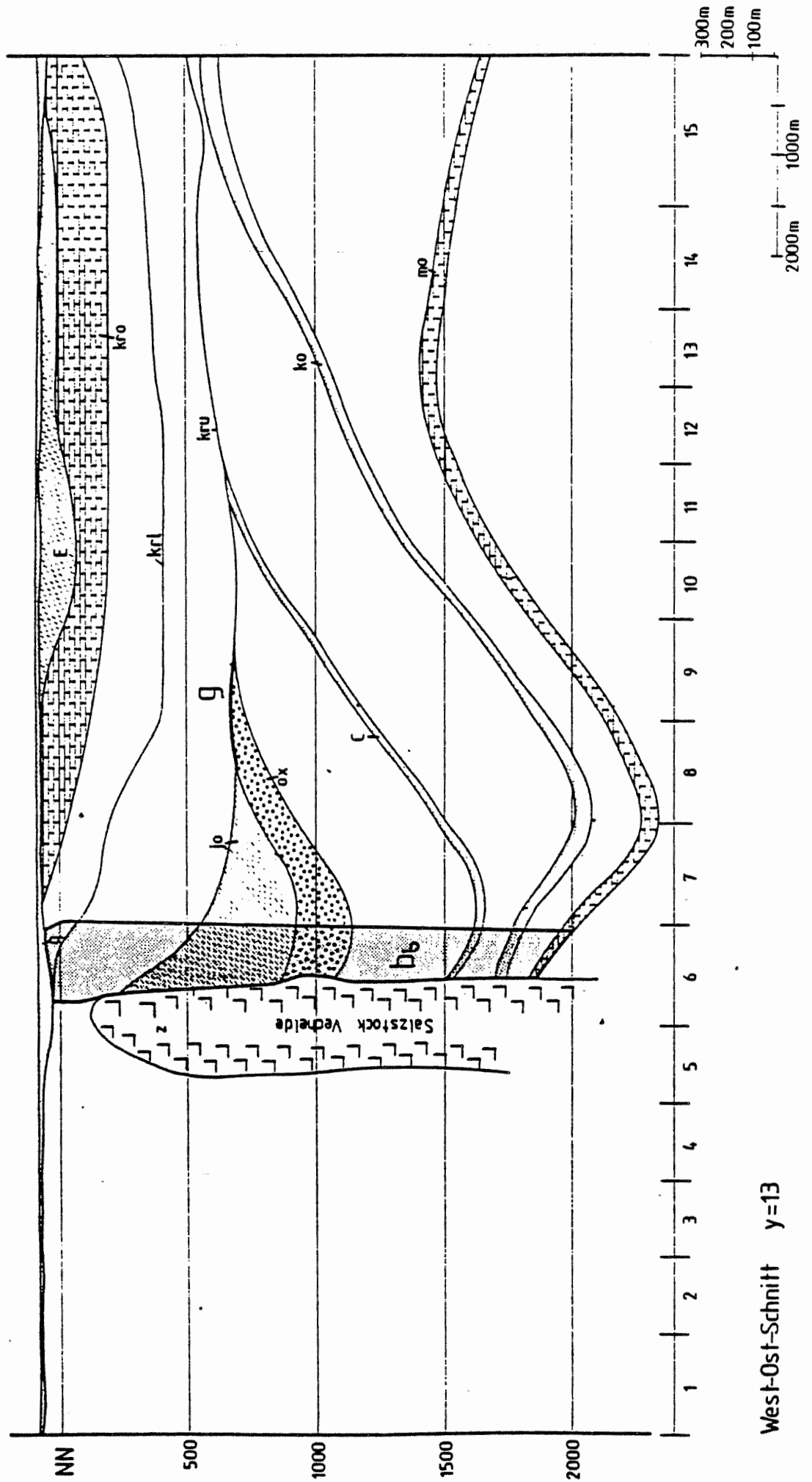
West-Ost-Schnitt y=10



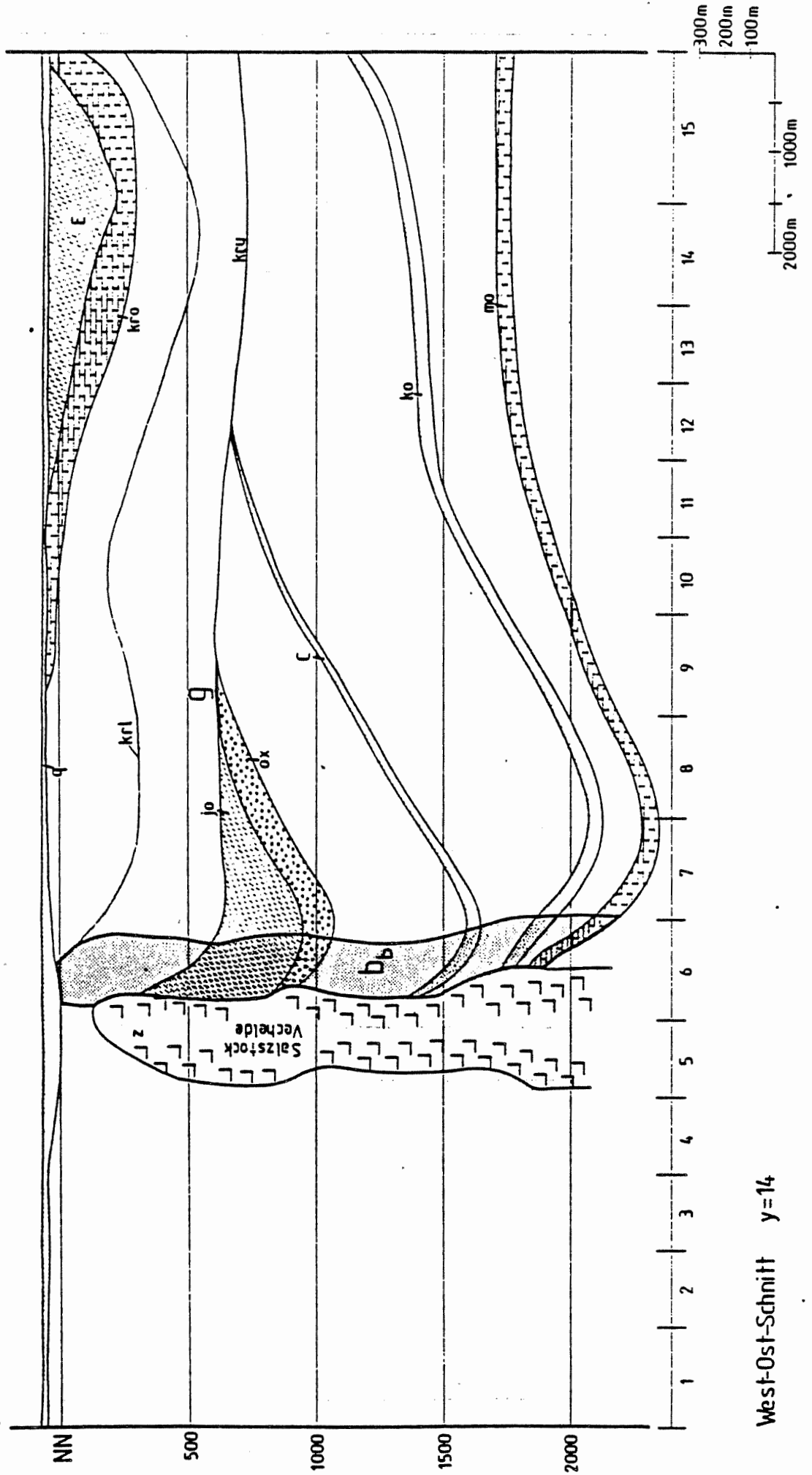
West-Ost-Schnitt y=11



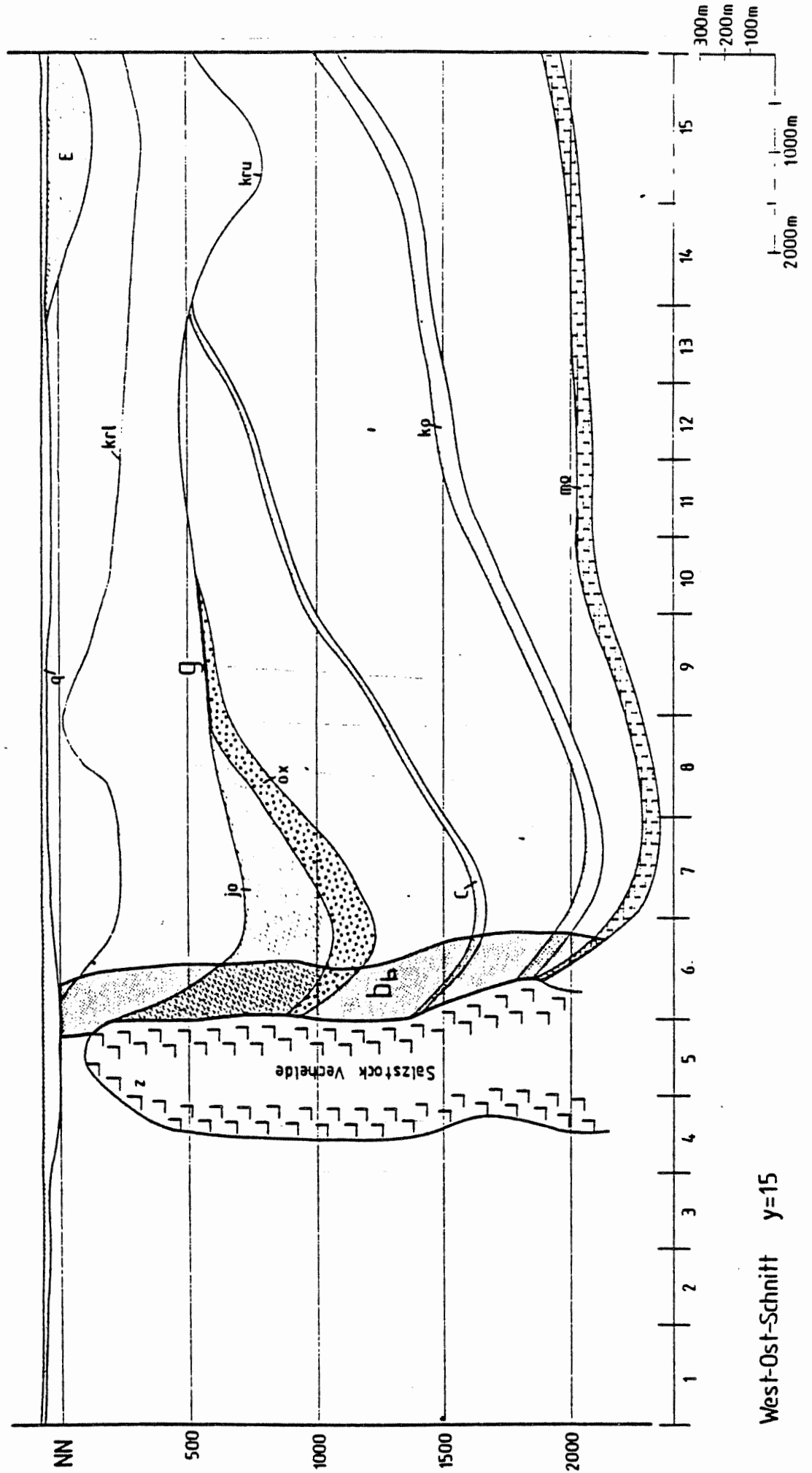
West-Ost-Schnitt y=12



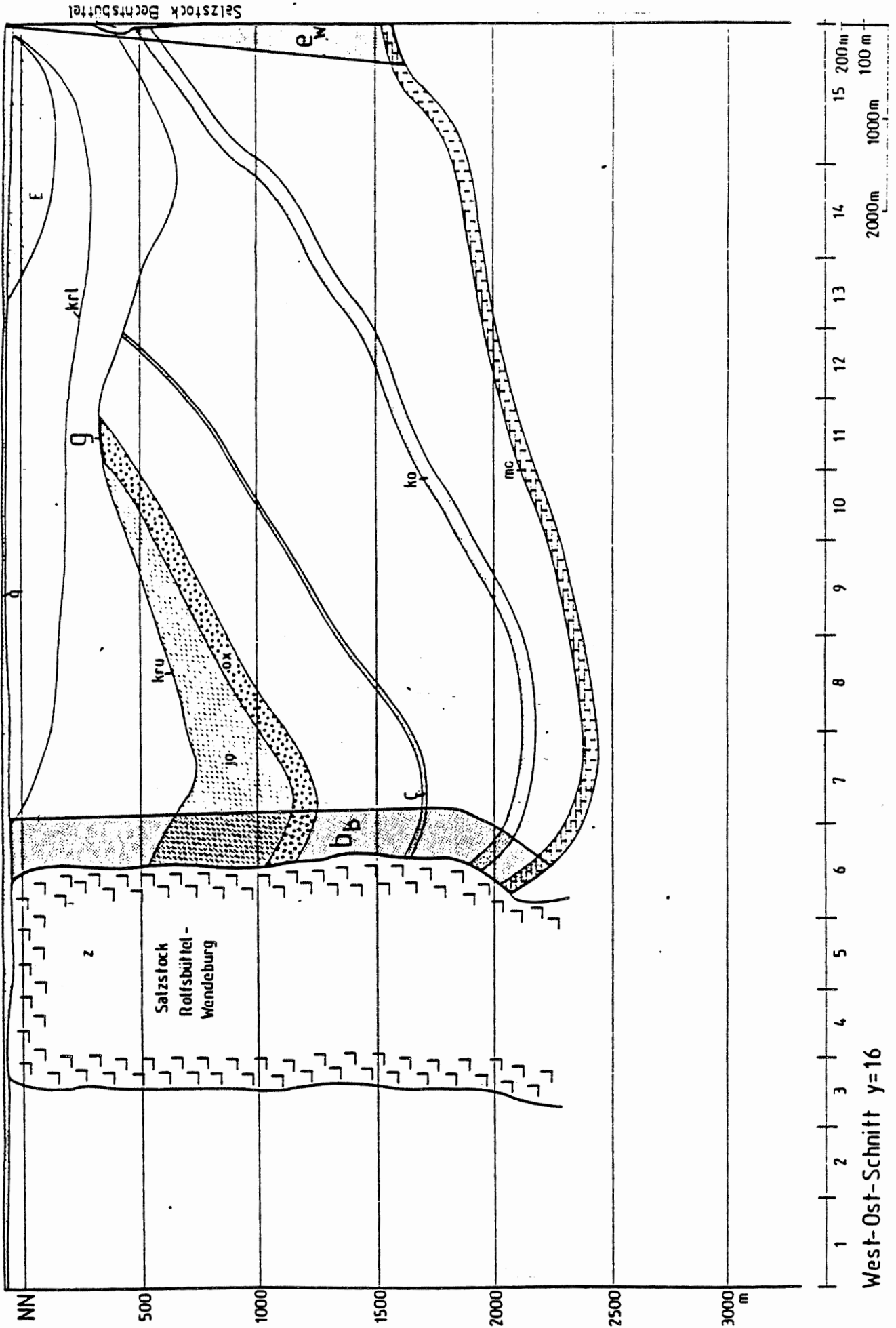
West-Ost-Schnitt y=13



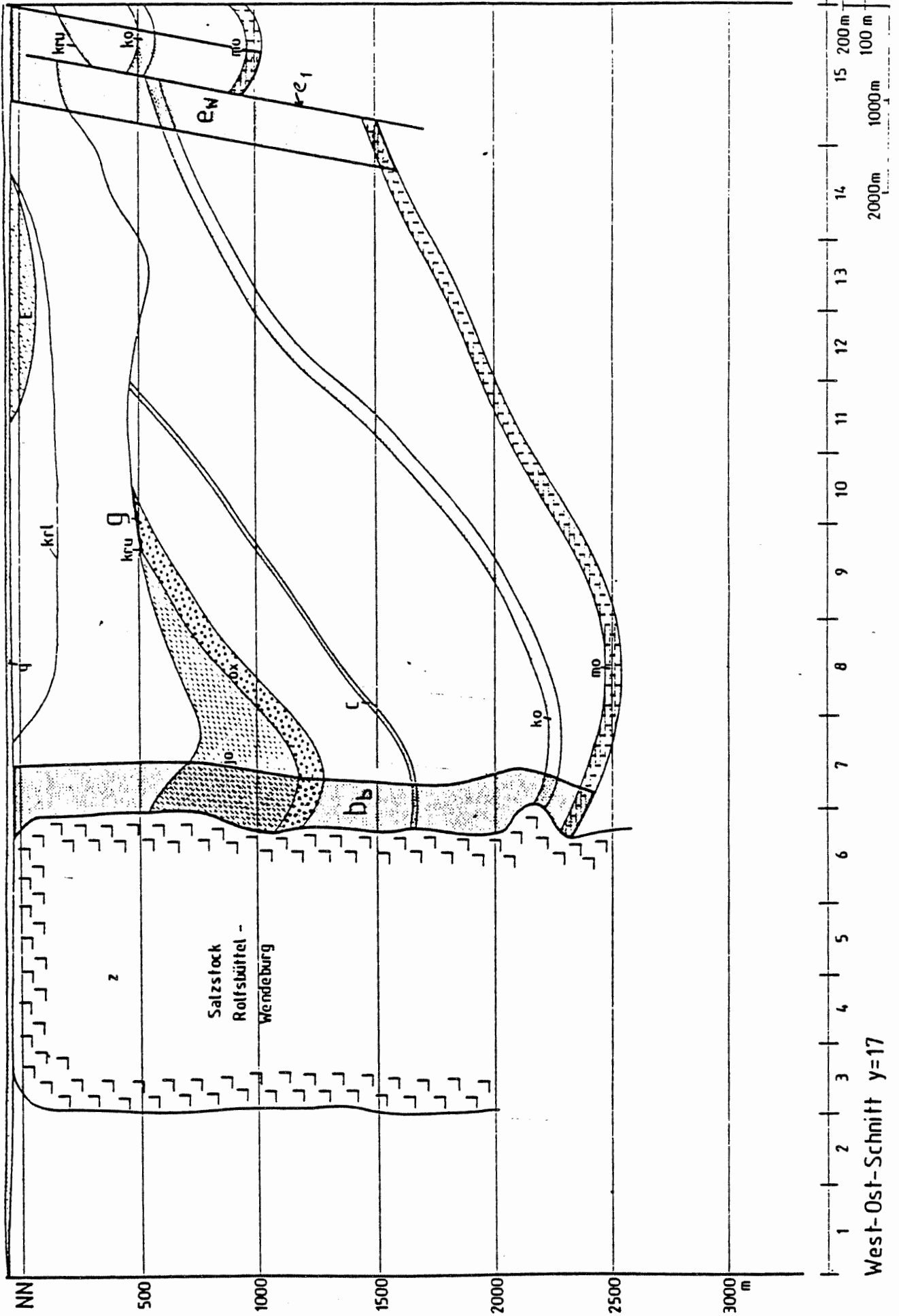
West-Ost-Schnitt y=14



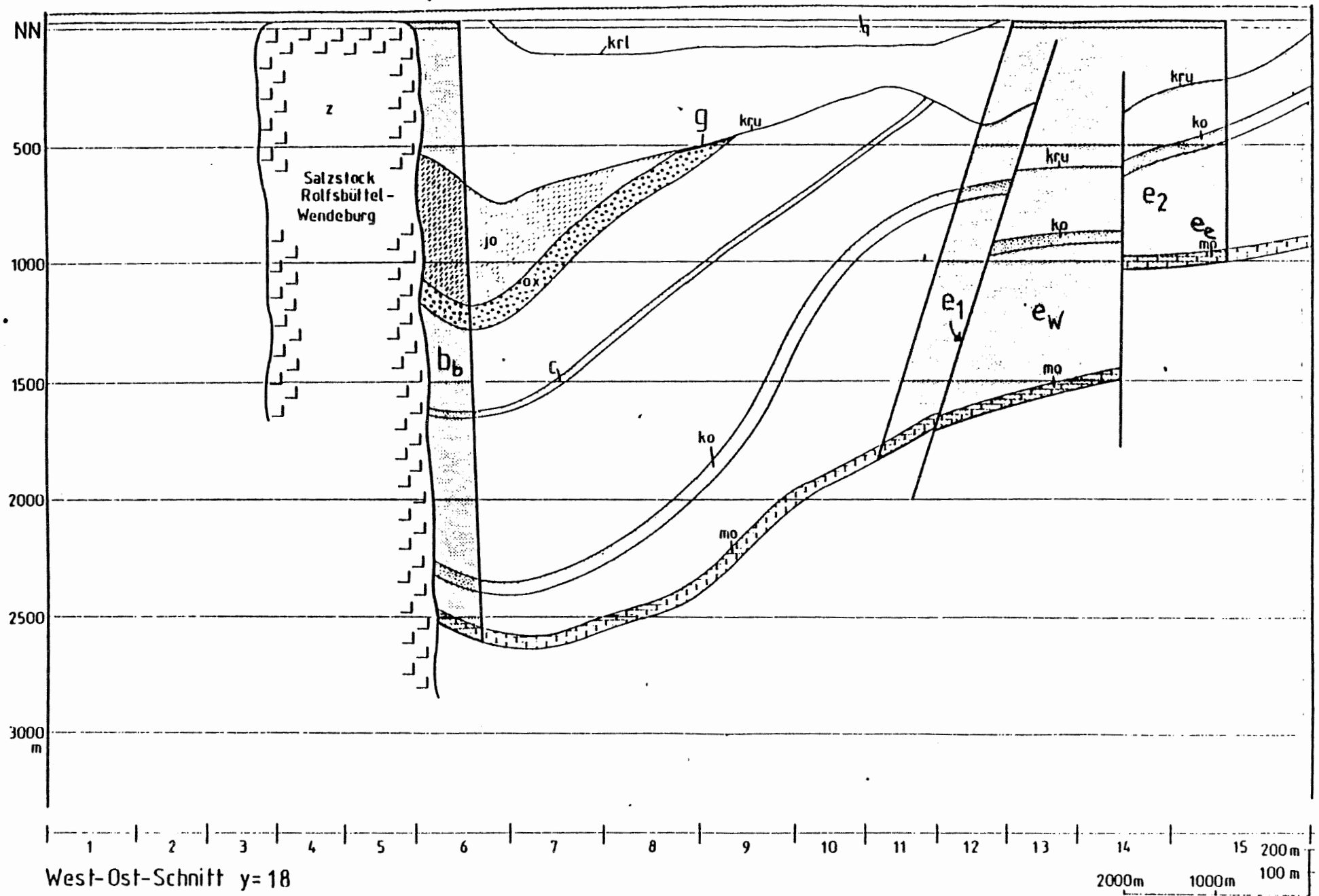
West-Ost-Schnitt y=15

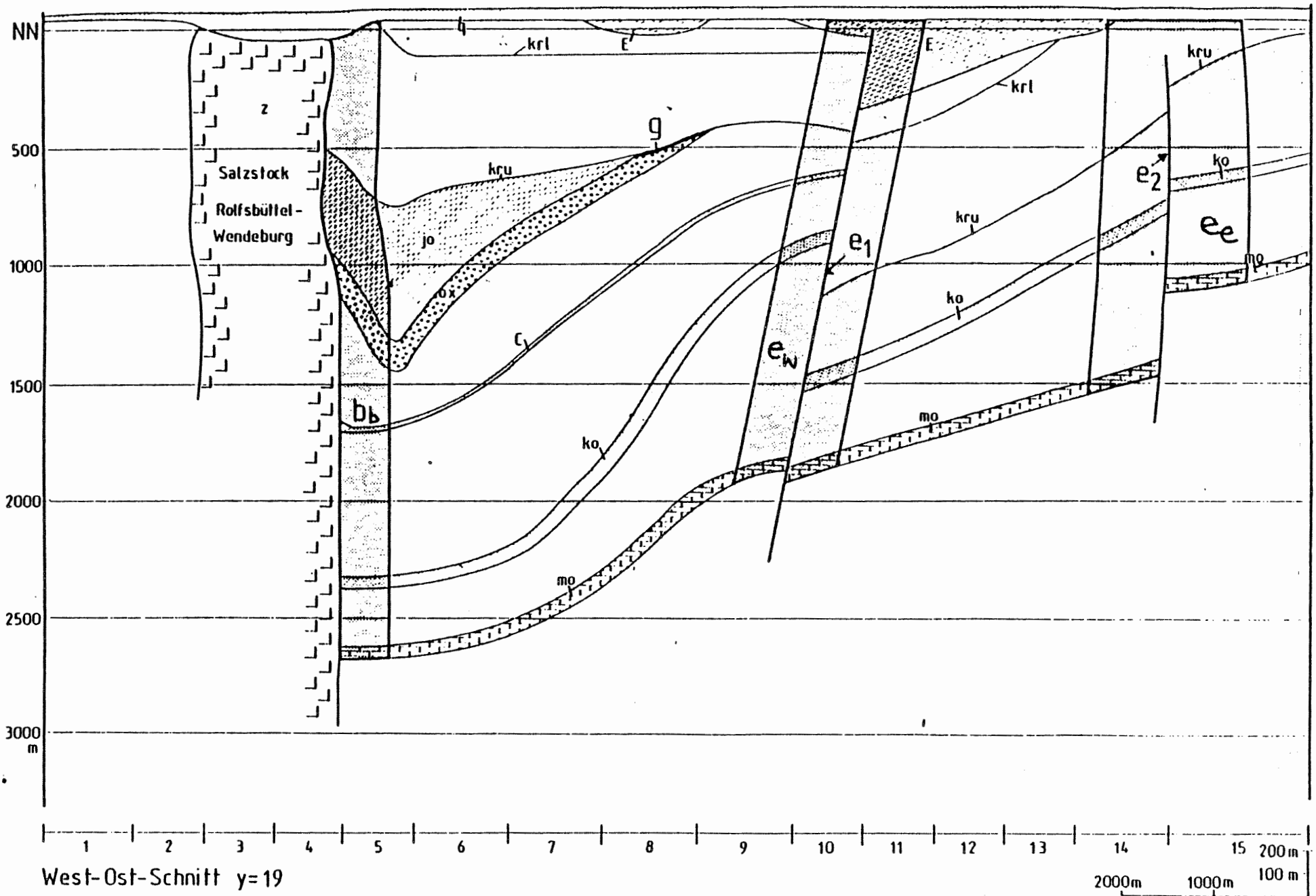


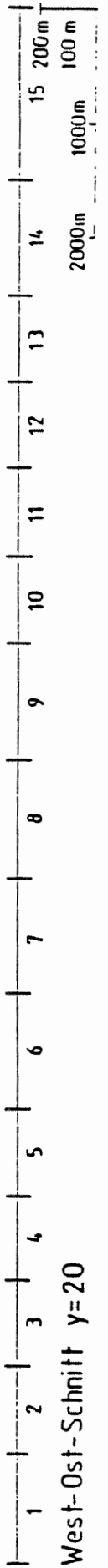
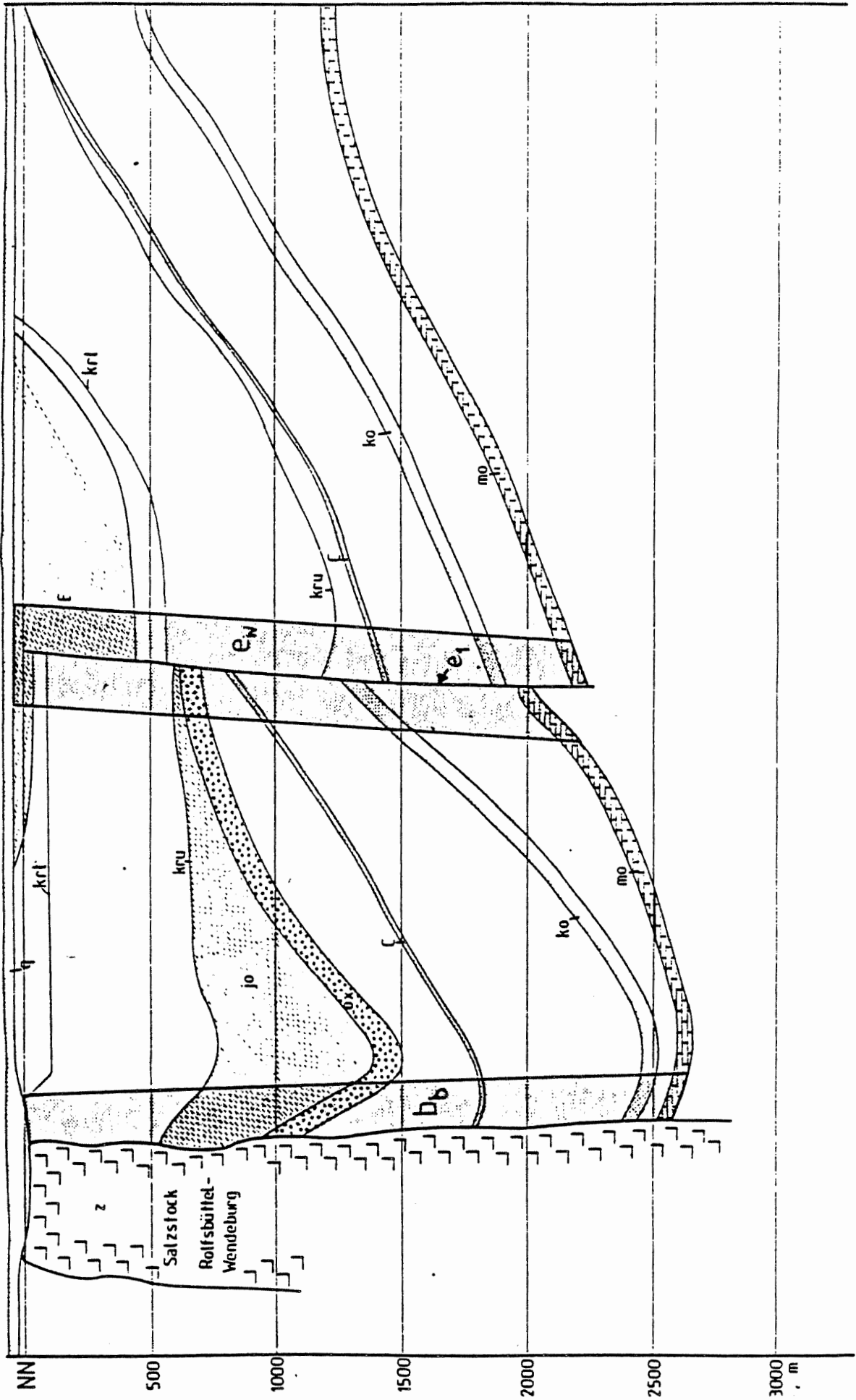




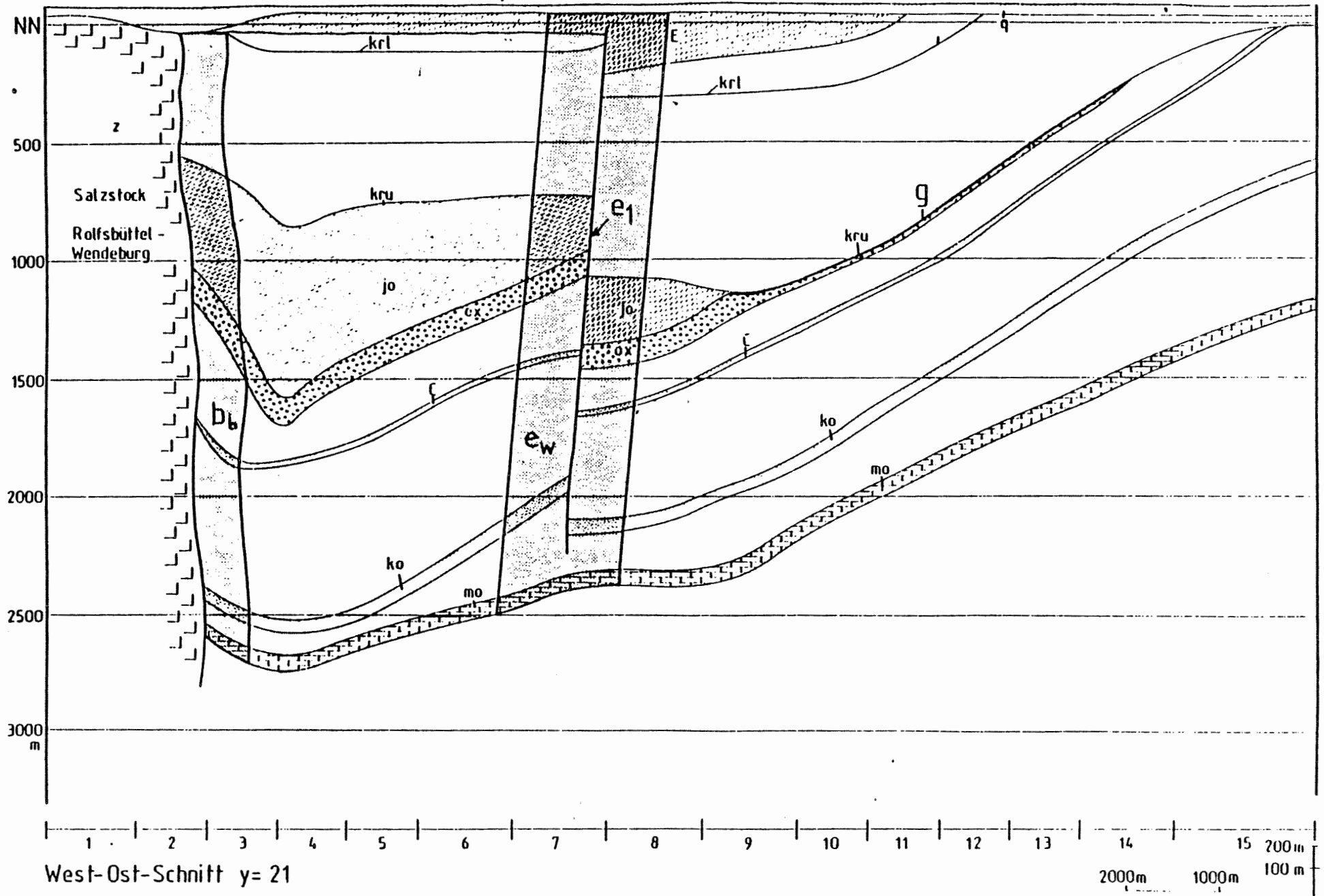
West-Ost-Schnitt y=17

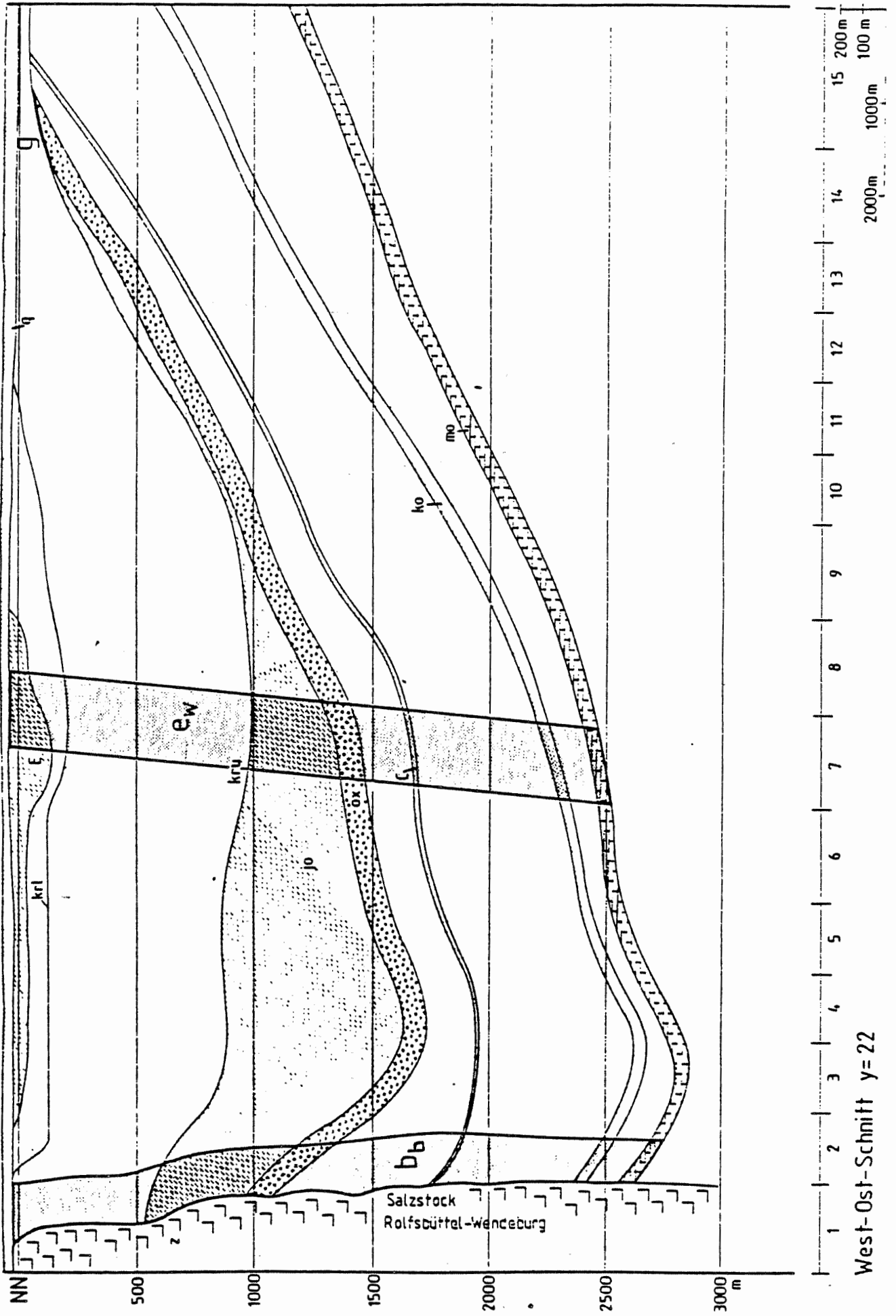




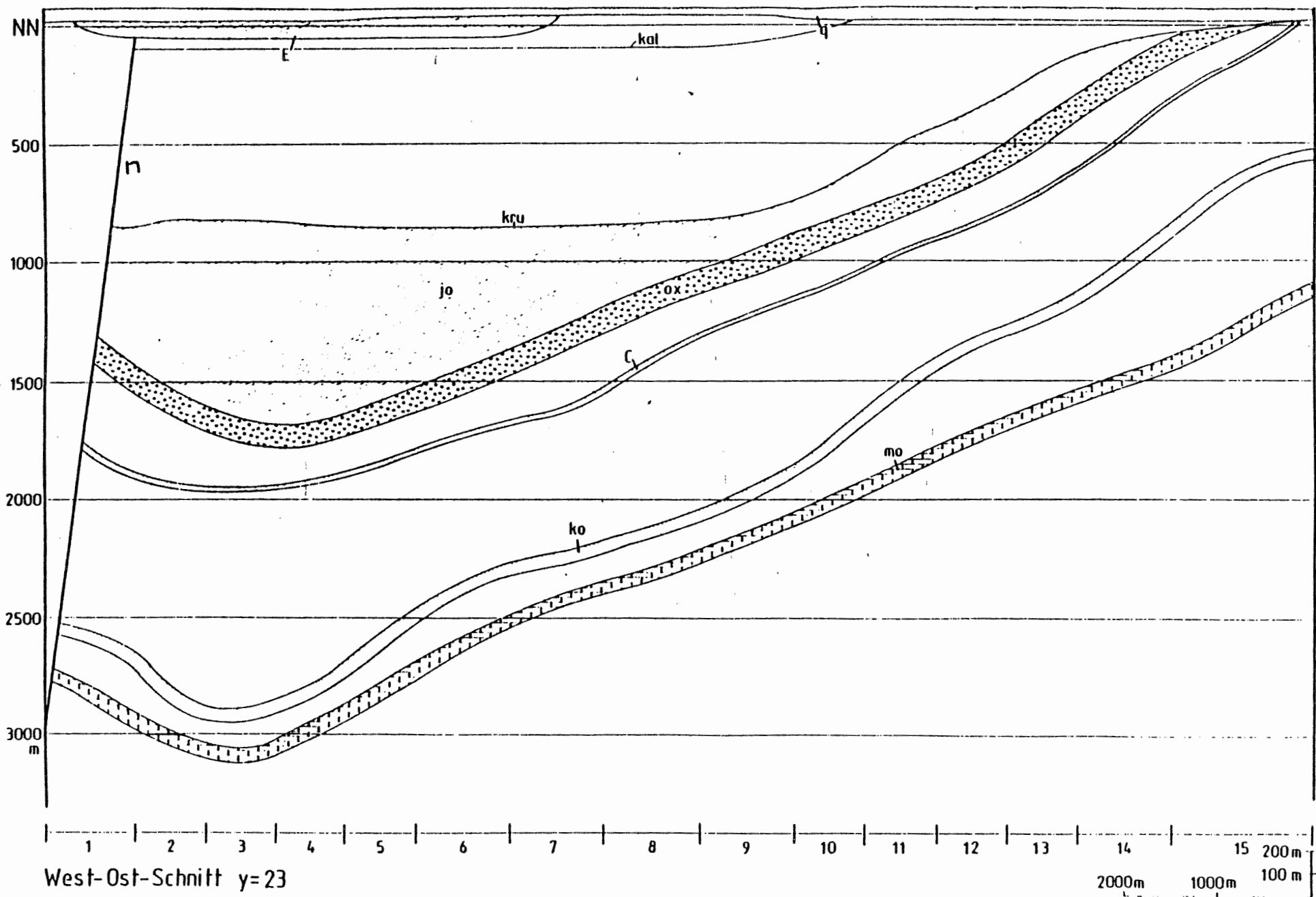


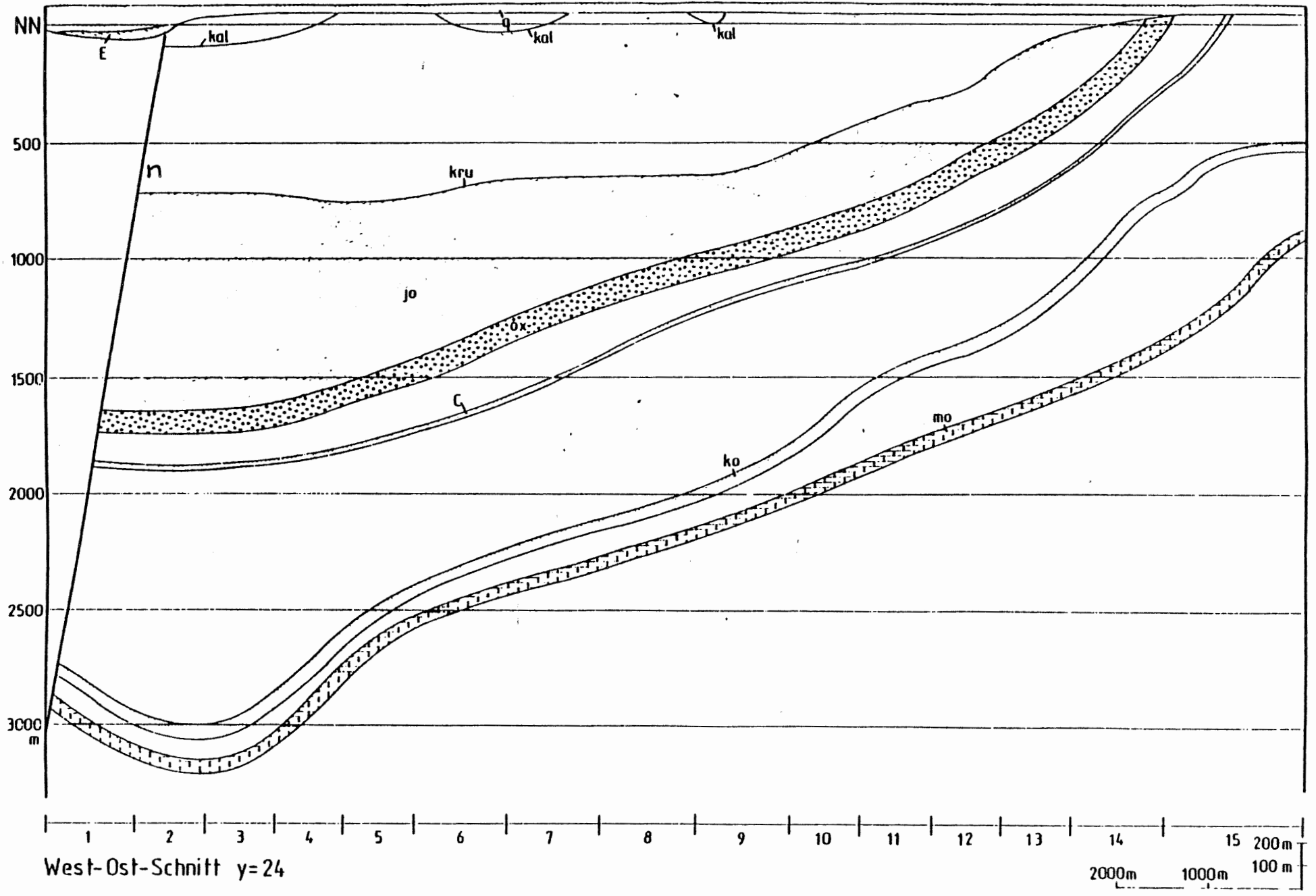
West-Ost-Schnitt y=20



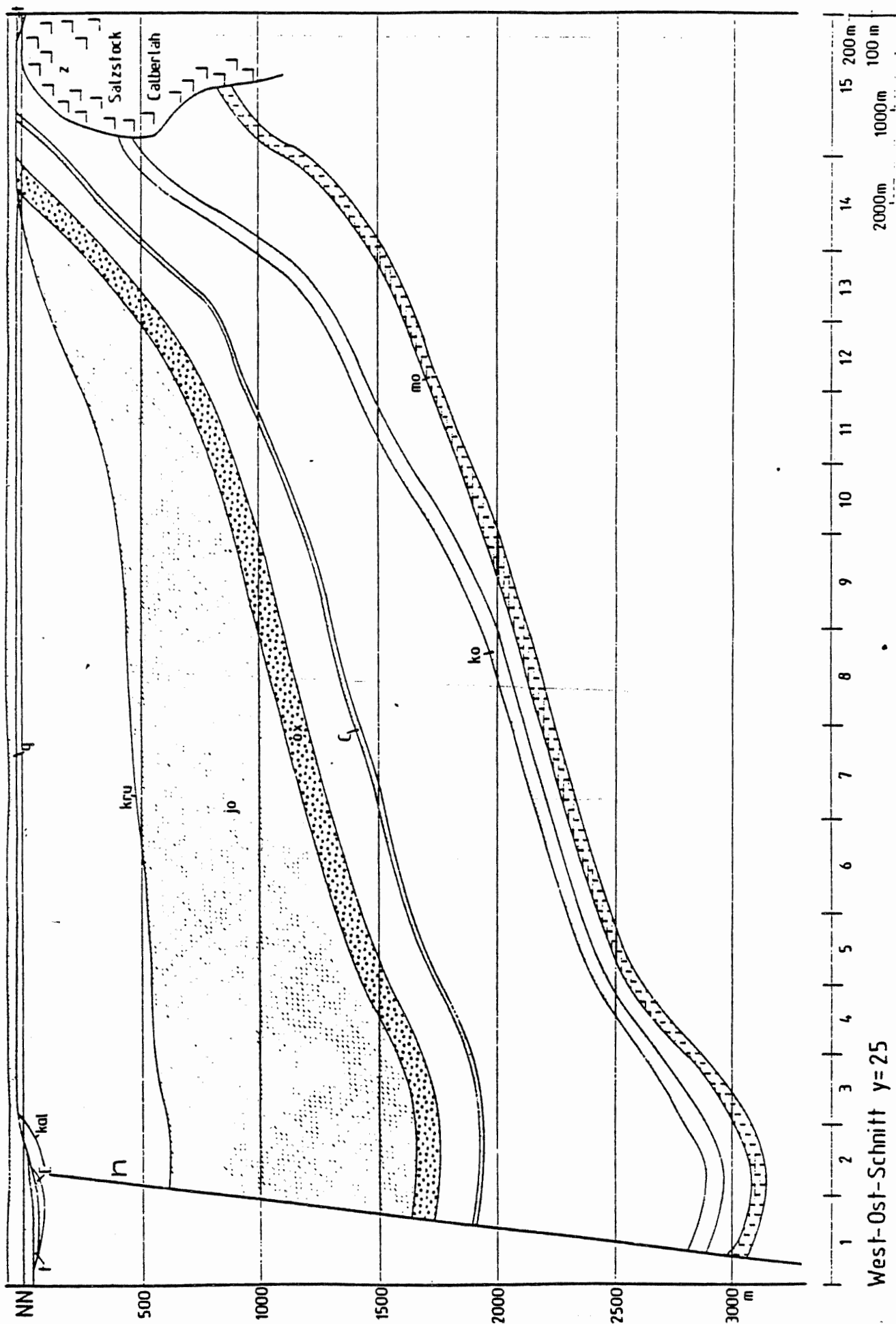


West-Ost-Schnitt y=22

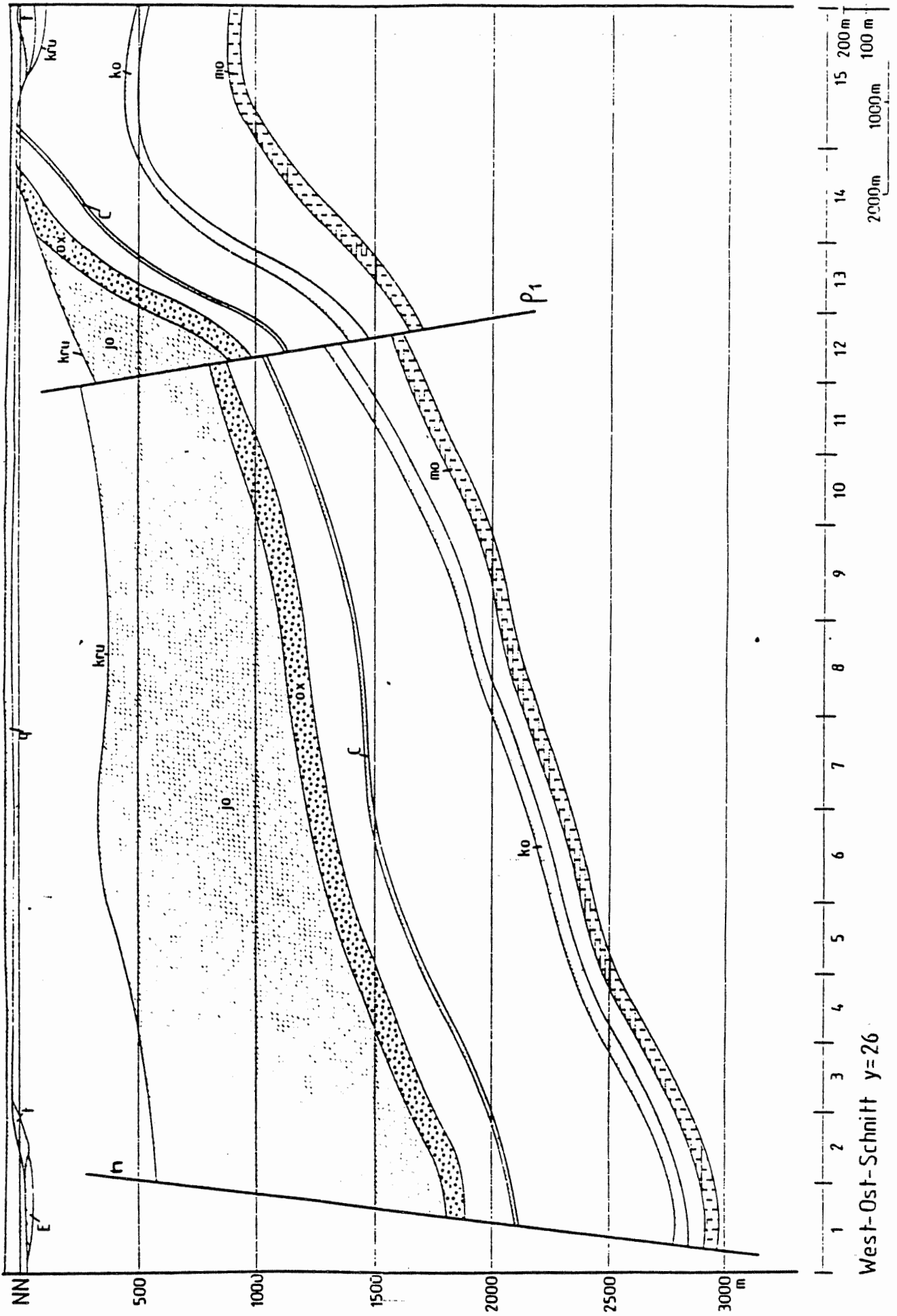




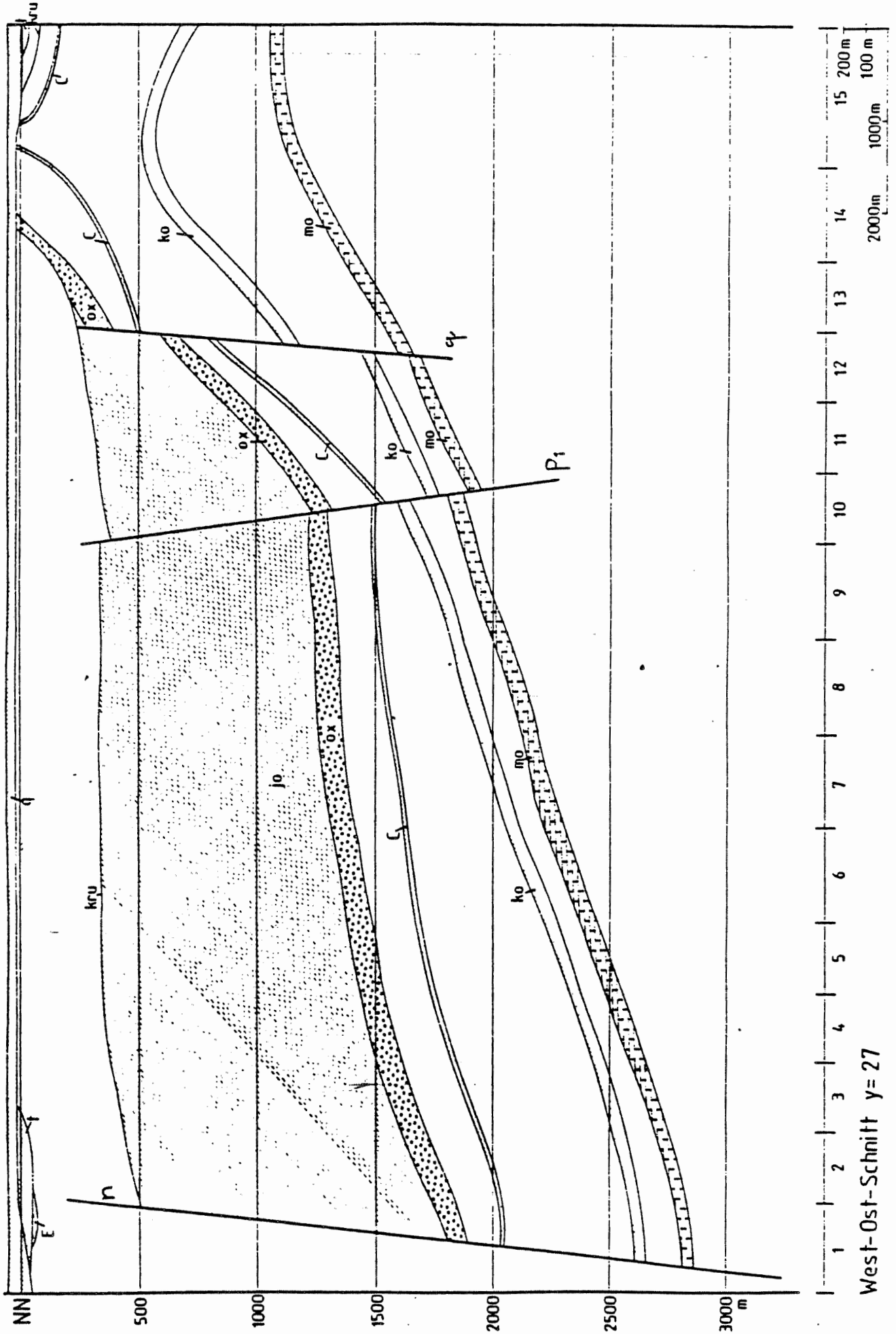




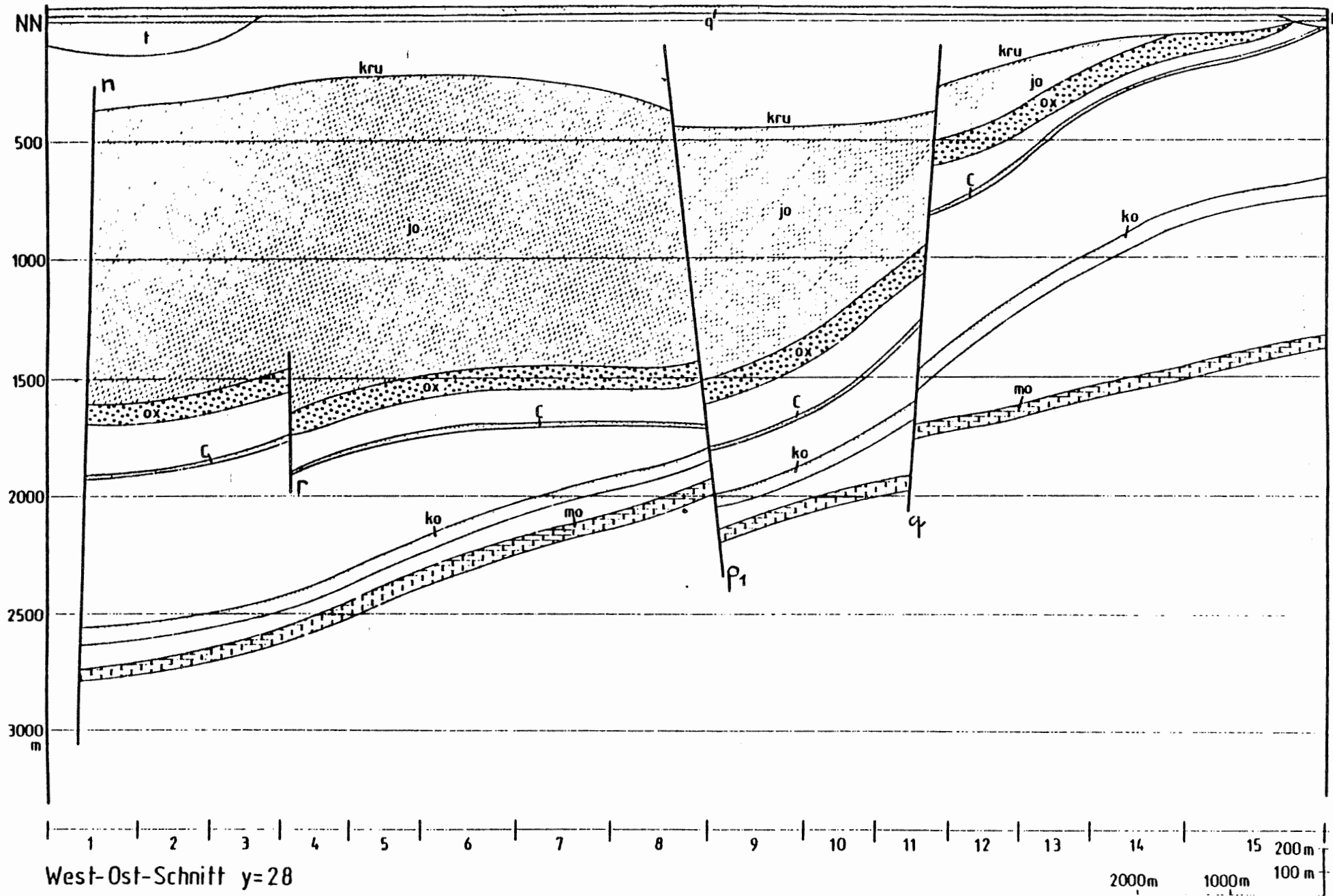
West-Ost-Schnitt y=25

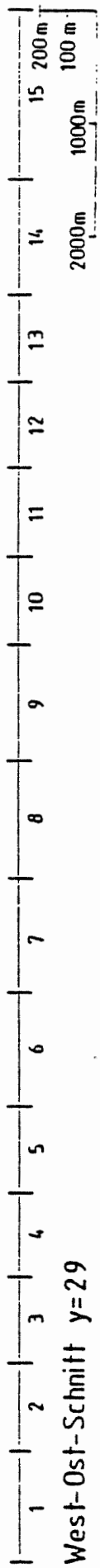
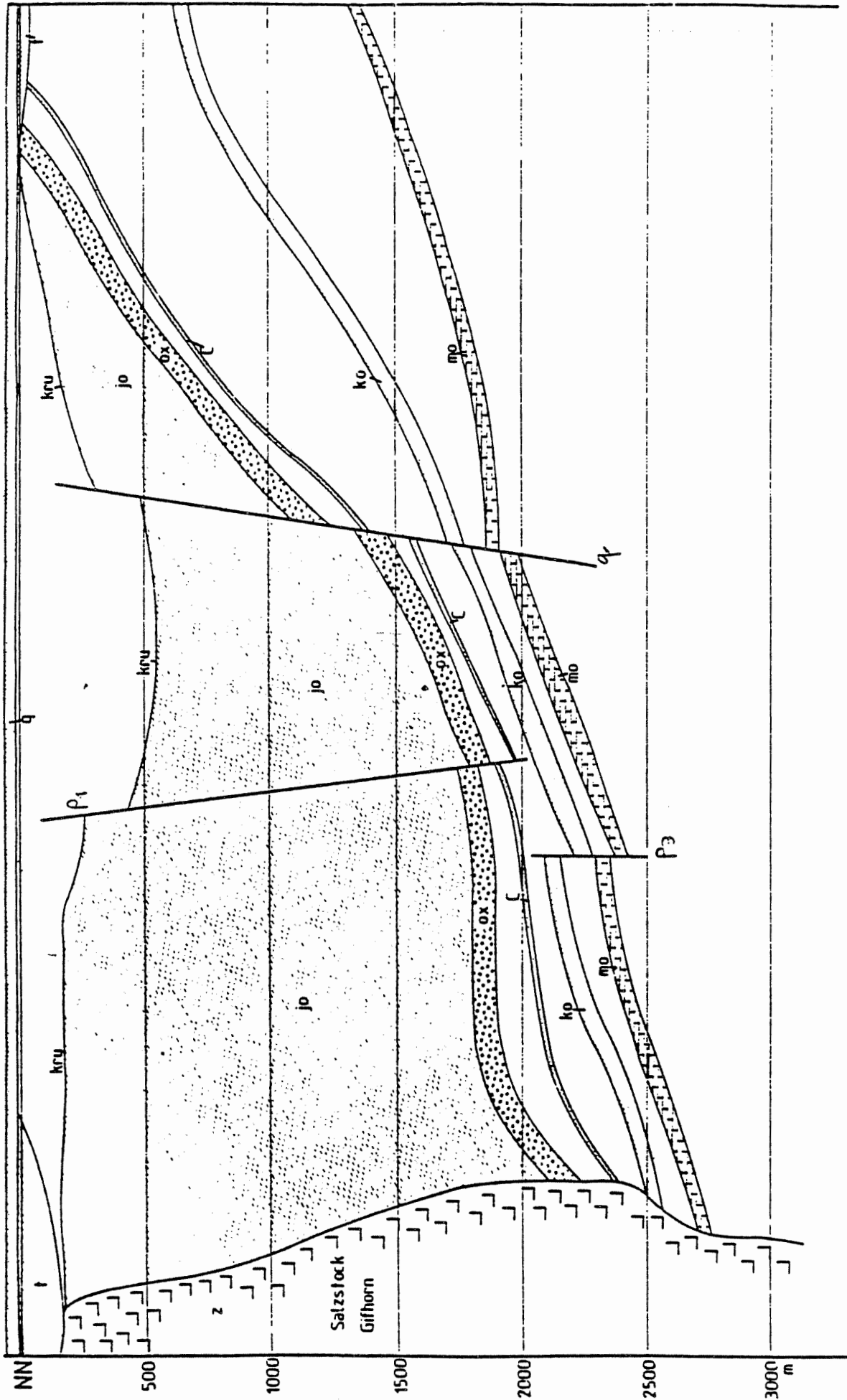


West-Ost-Schnitt y=26

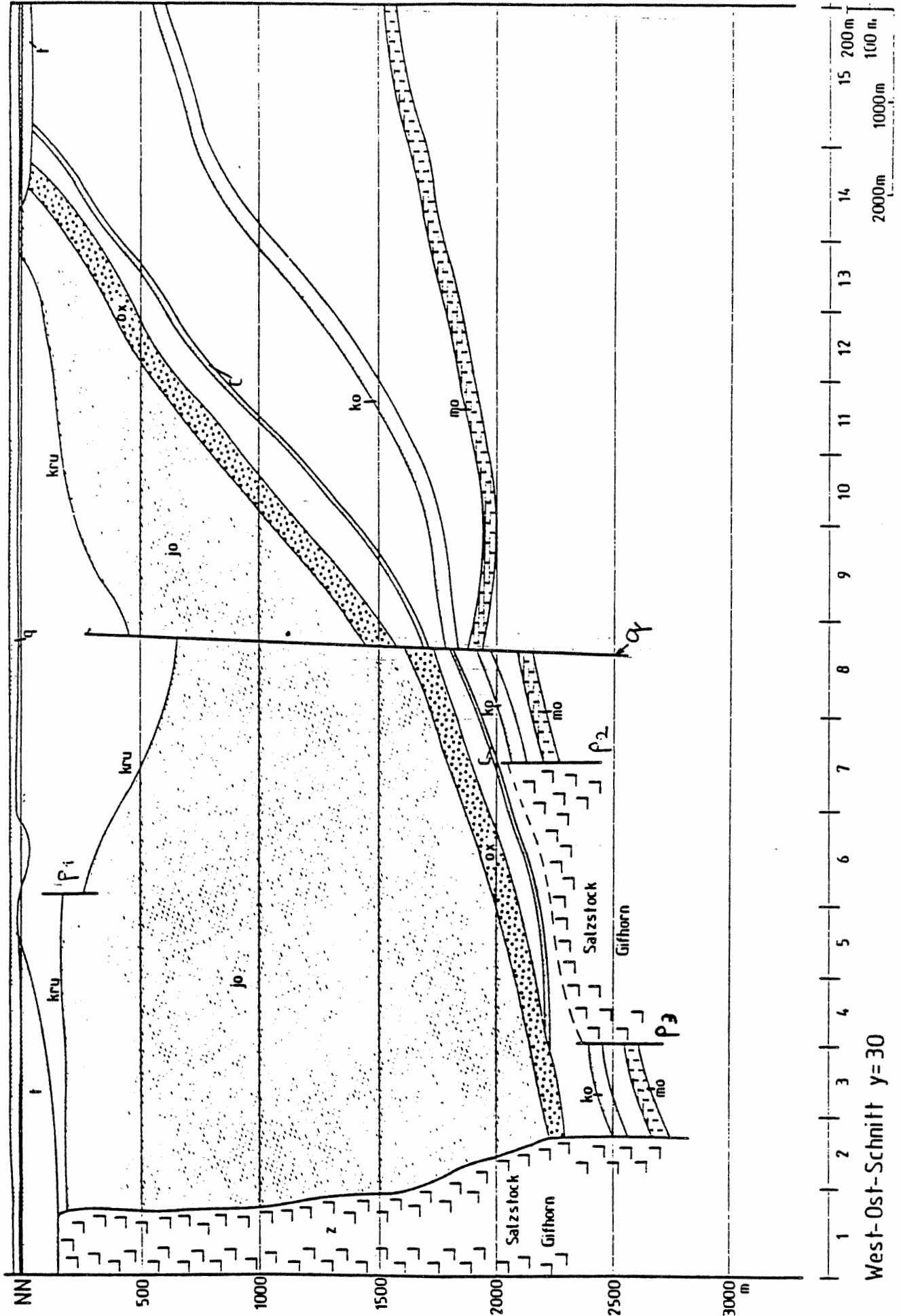


West-Ost-Schnitt y=27

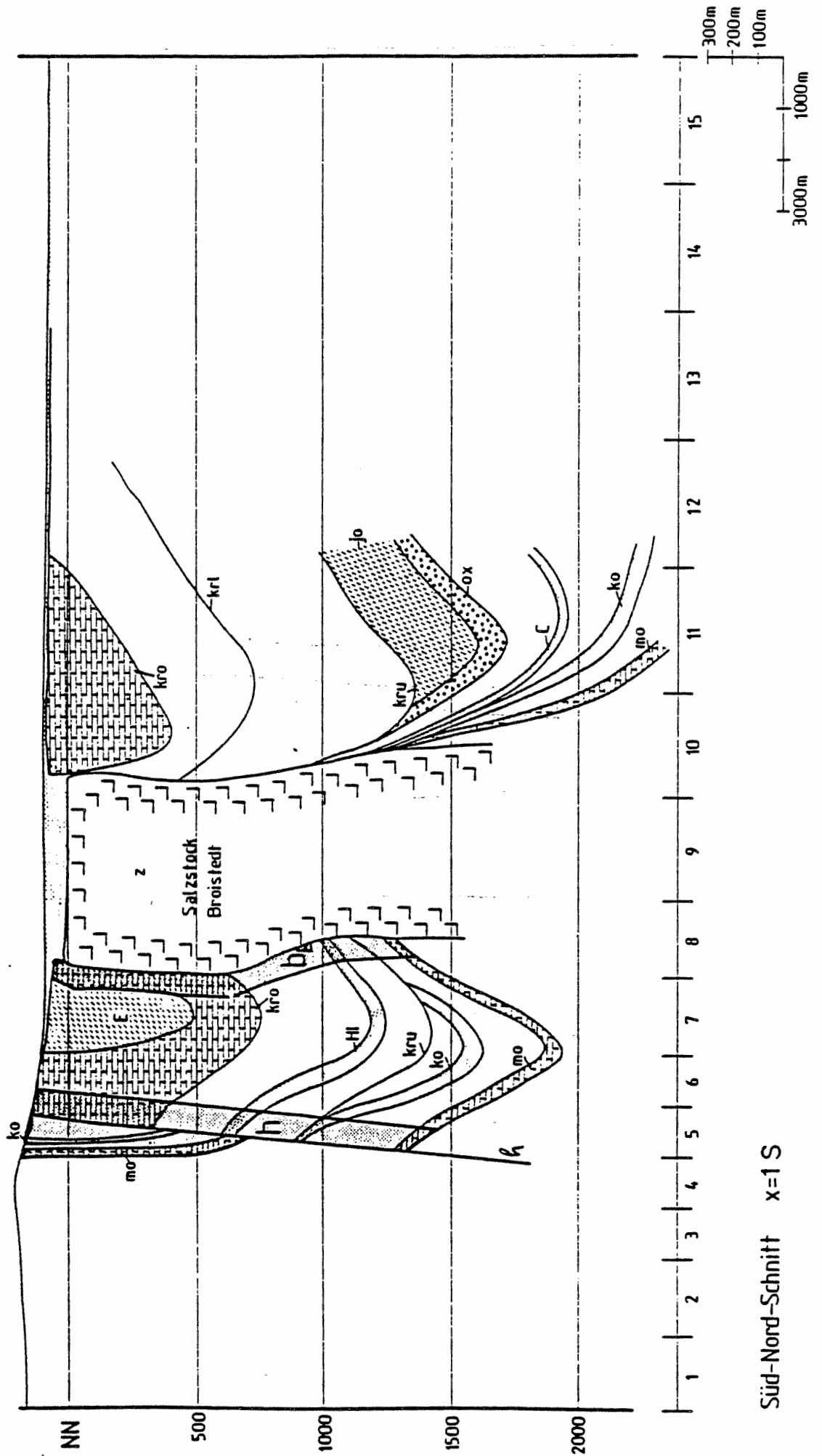




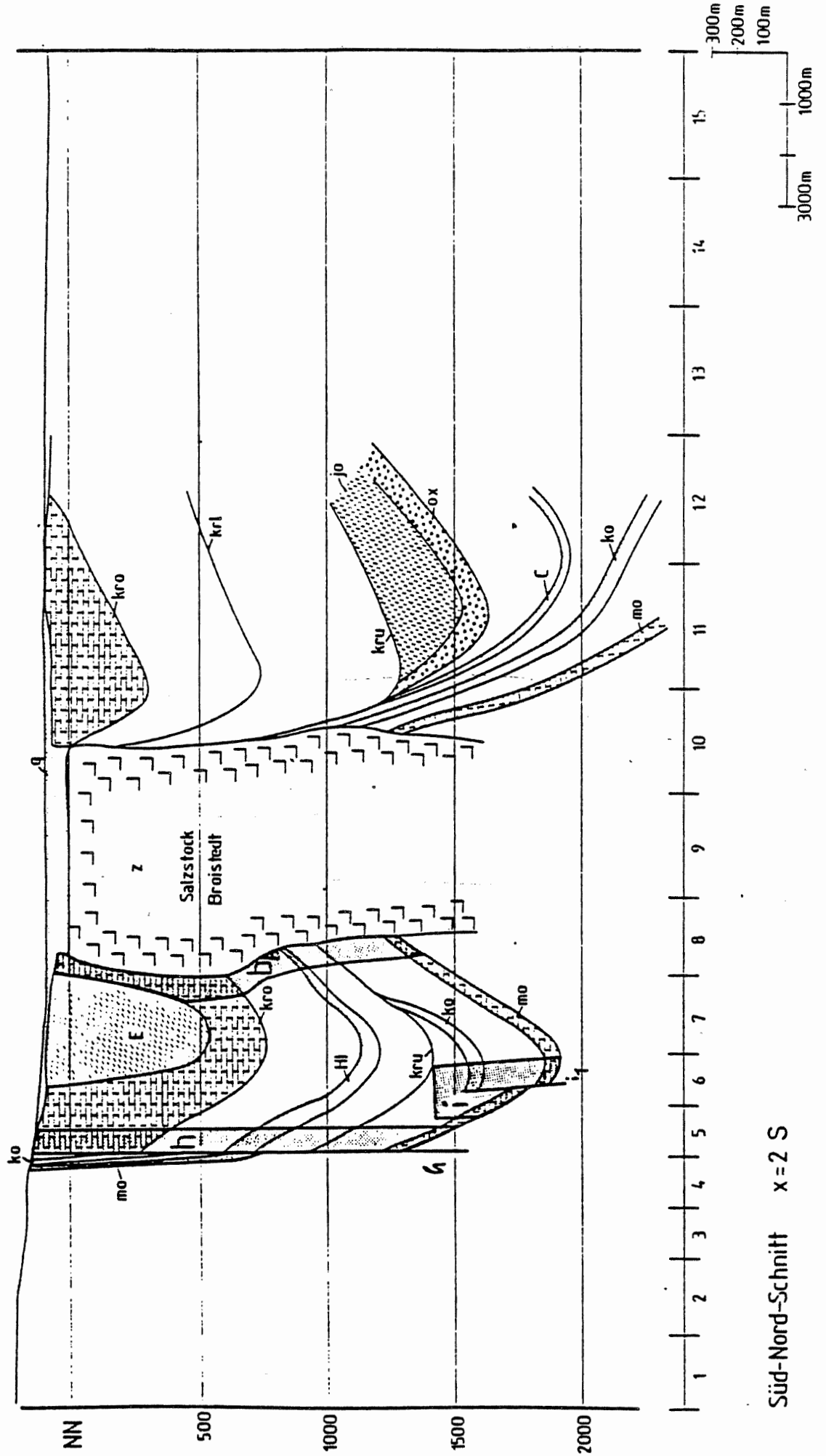
West-Ost-Schnitt y=29



West-Ost-Schnitt y=30

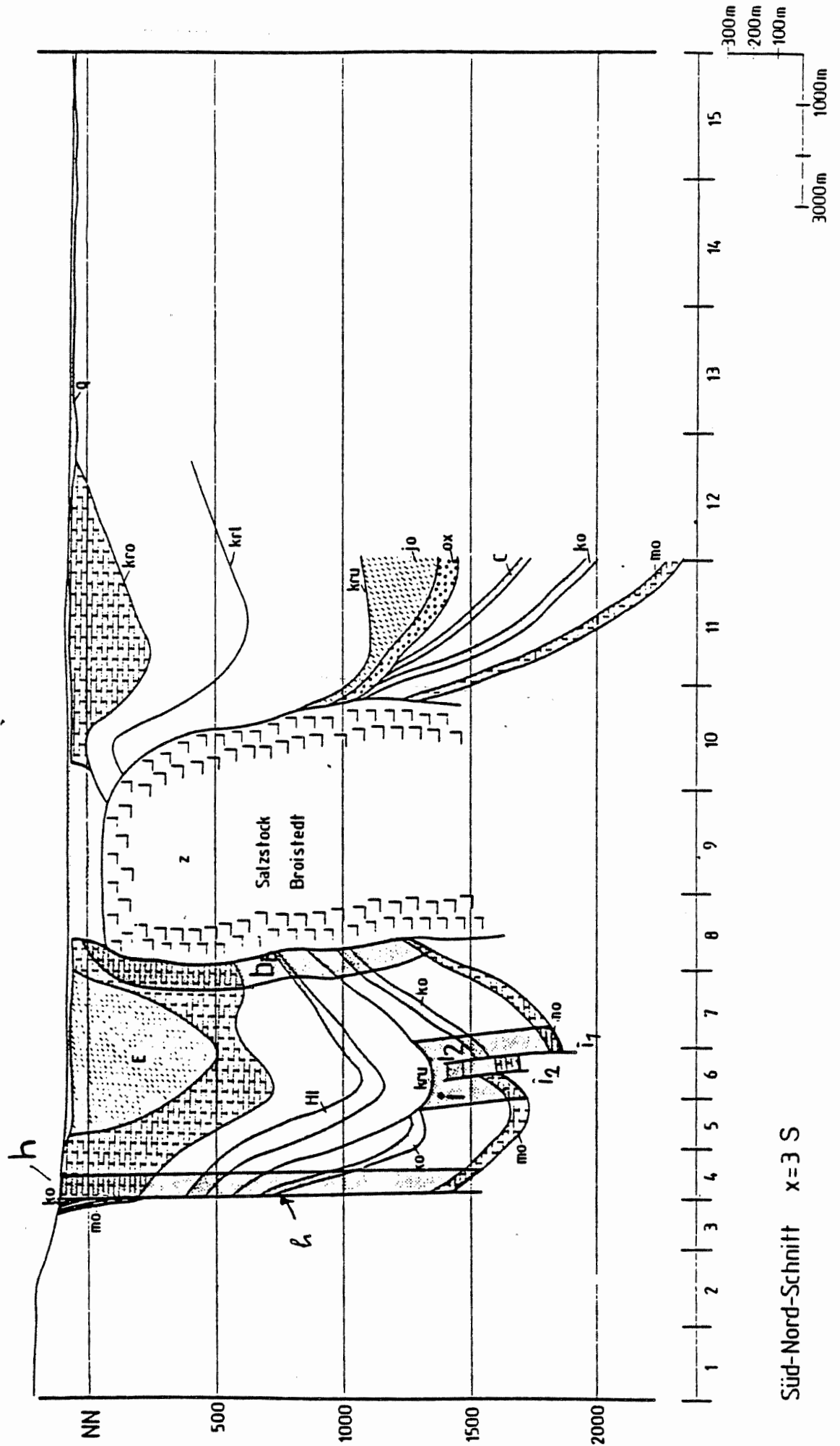


Süd-Nord-Schnitt x=1 S

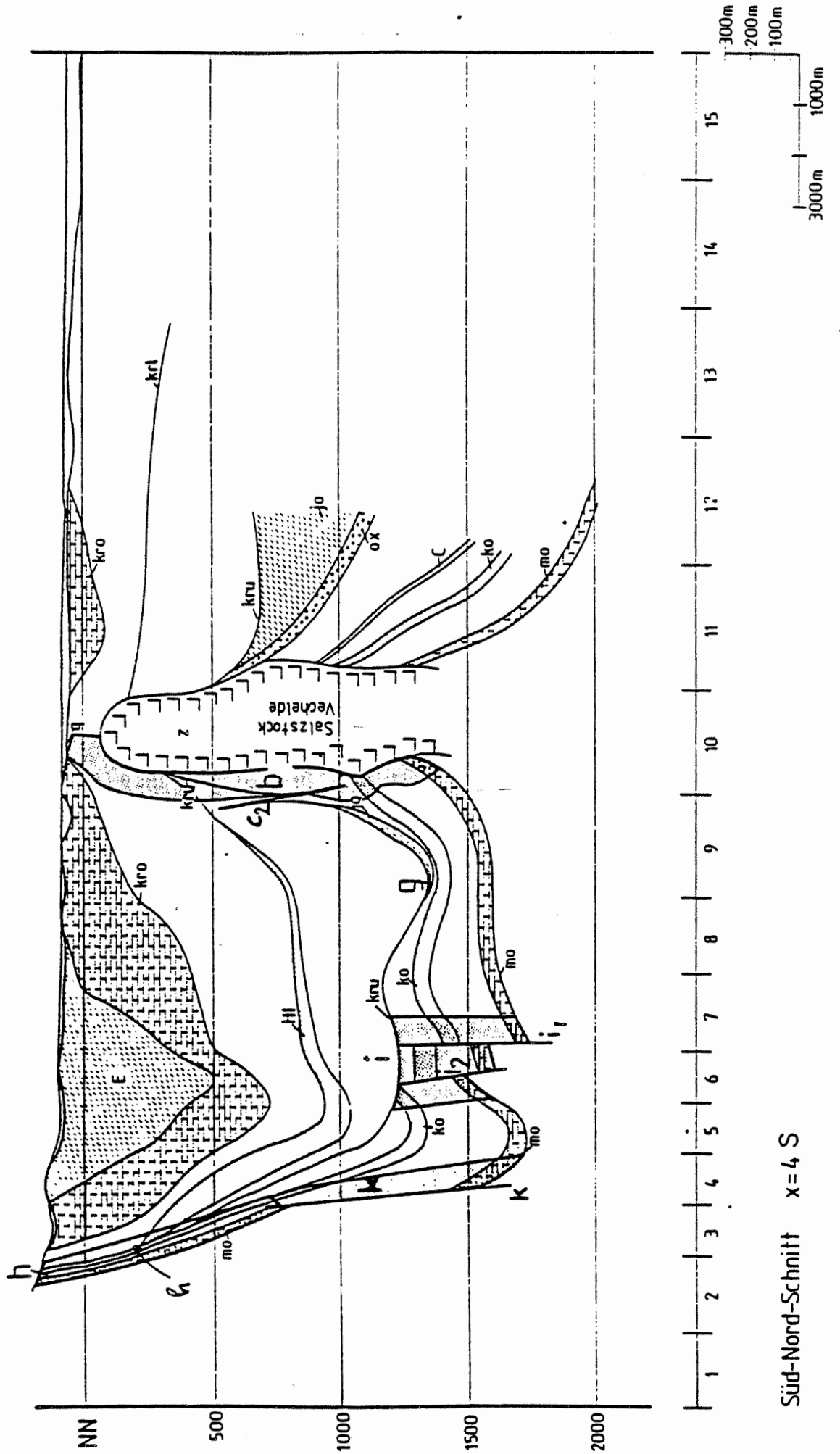


Süd-Nord-Schnitt x=2 S

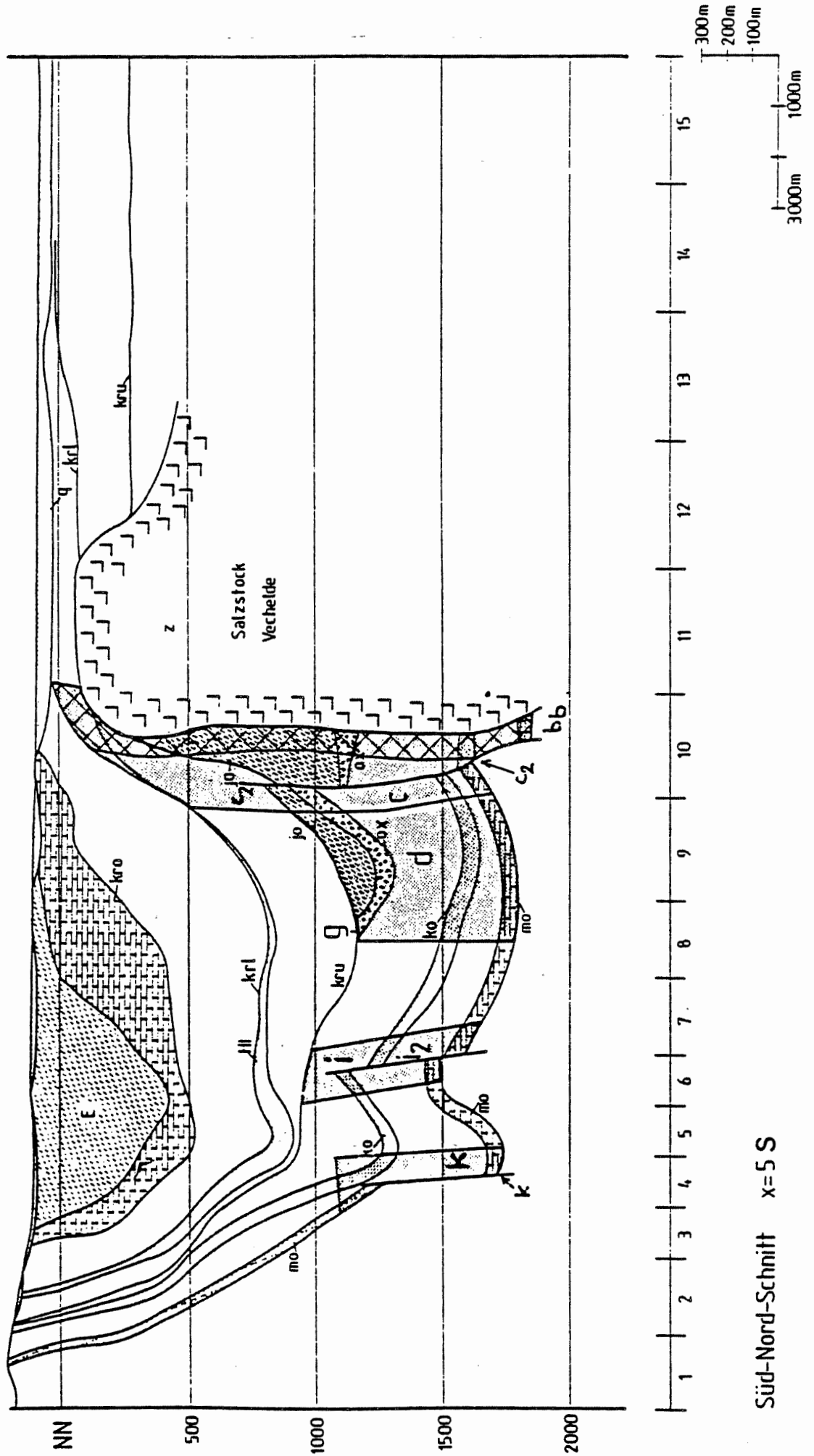




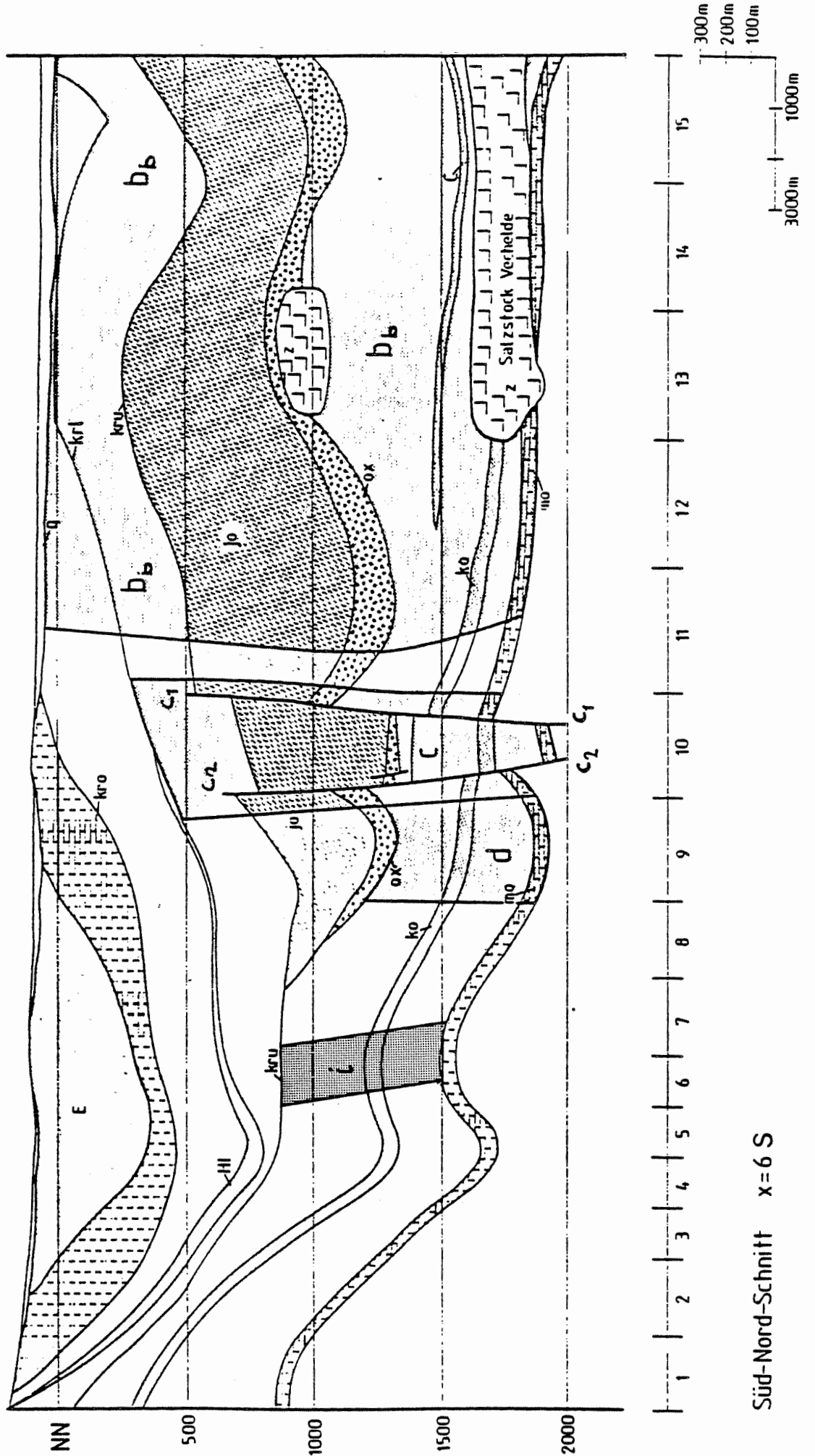
Süd-Nord-Schnitt x=3 S



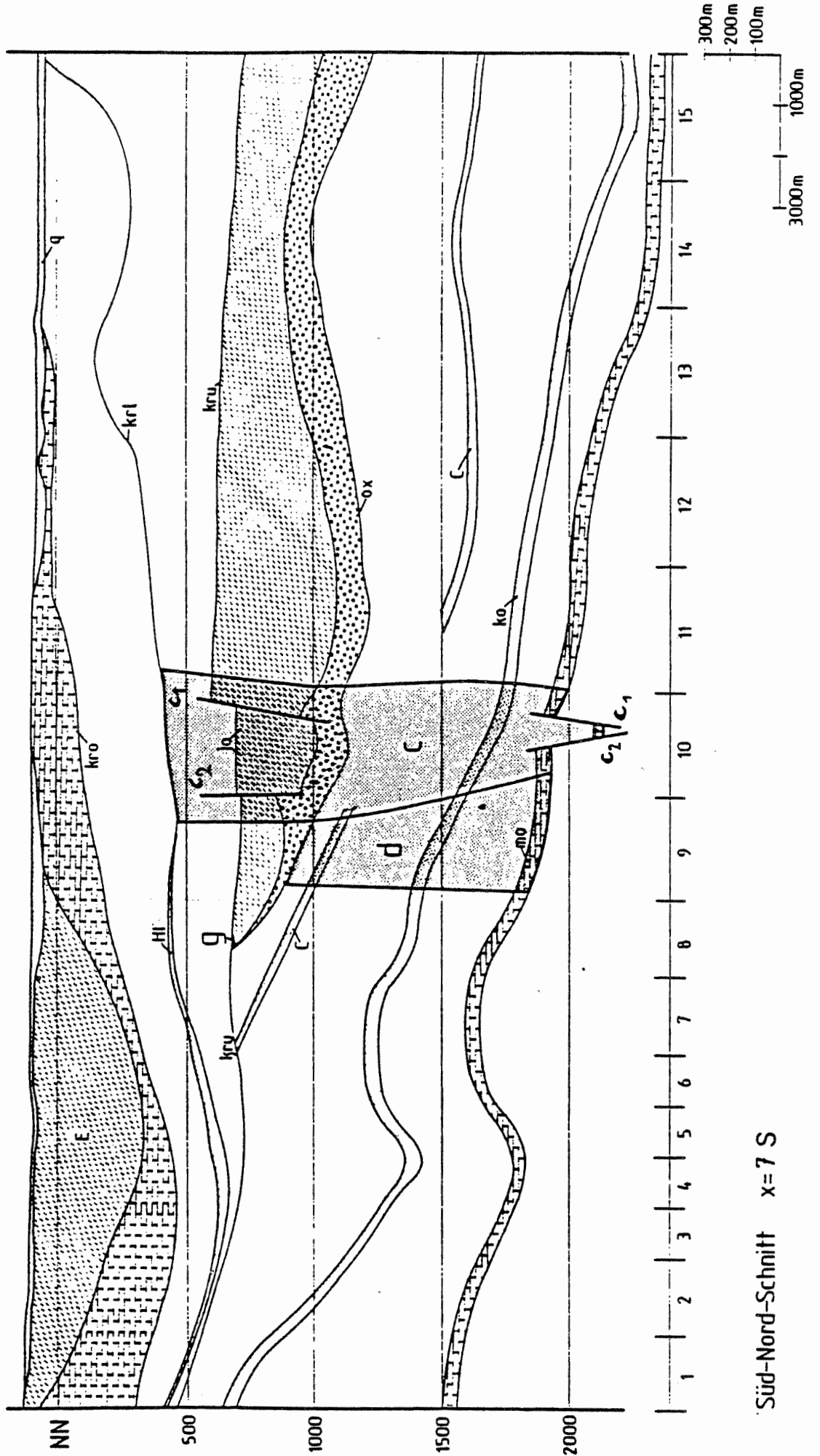
Süd-Nord-Schnitt x=4 S



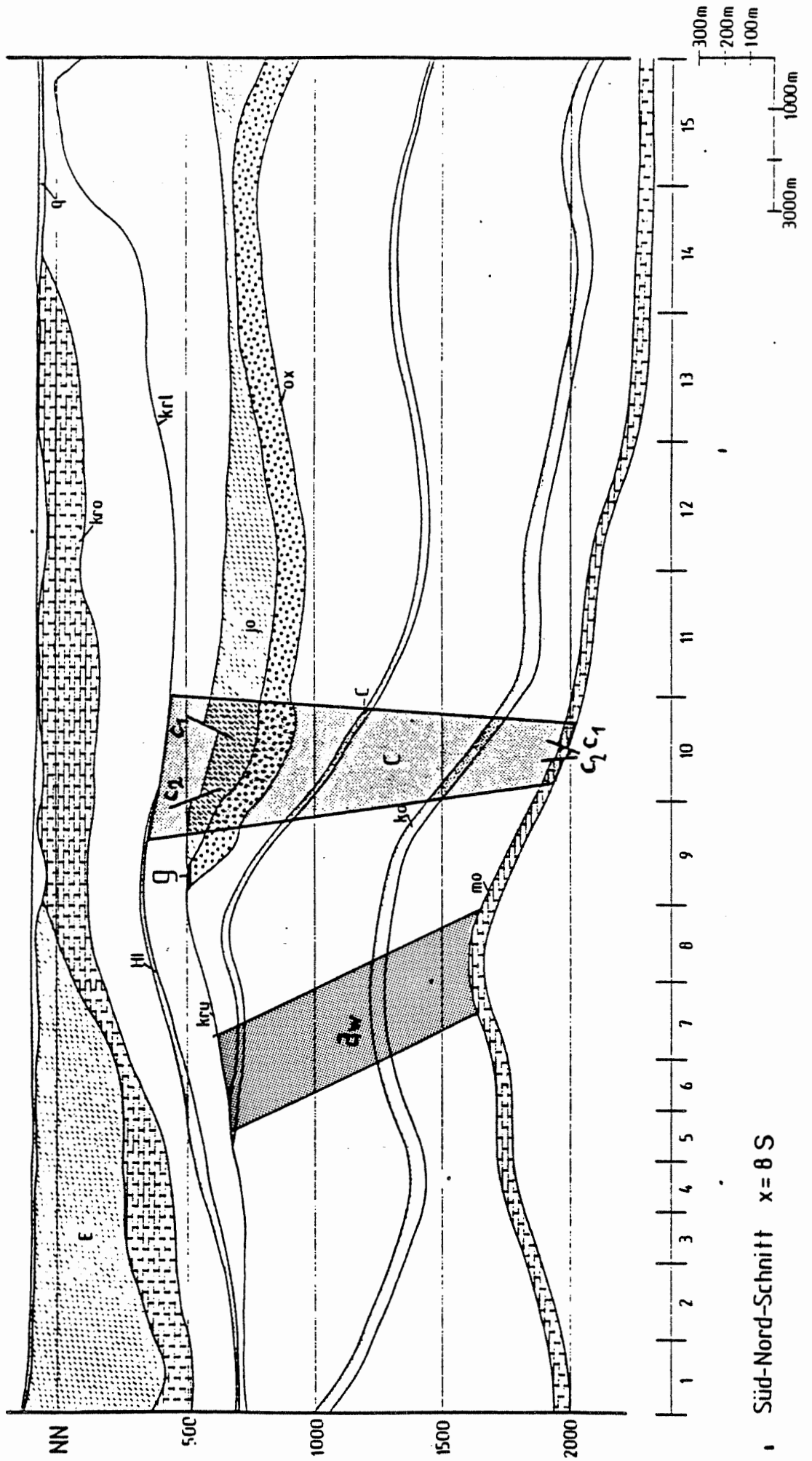
Süd-Nord-Schnitt x=5 S



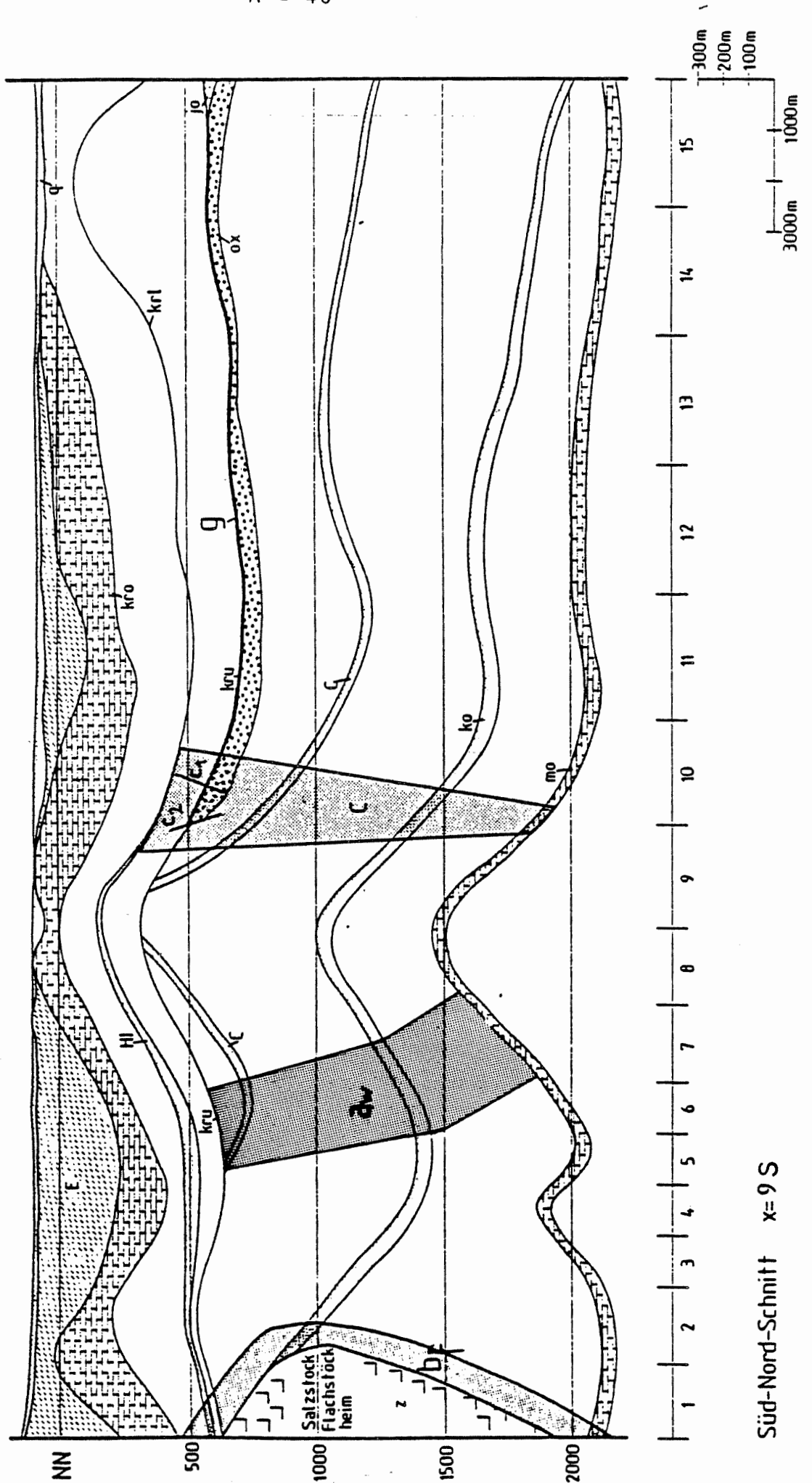
Süd-Nord-Schnitt x=6 S



Süd-Nord-Schnitt x=7 S



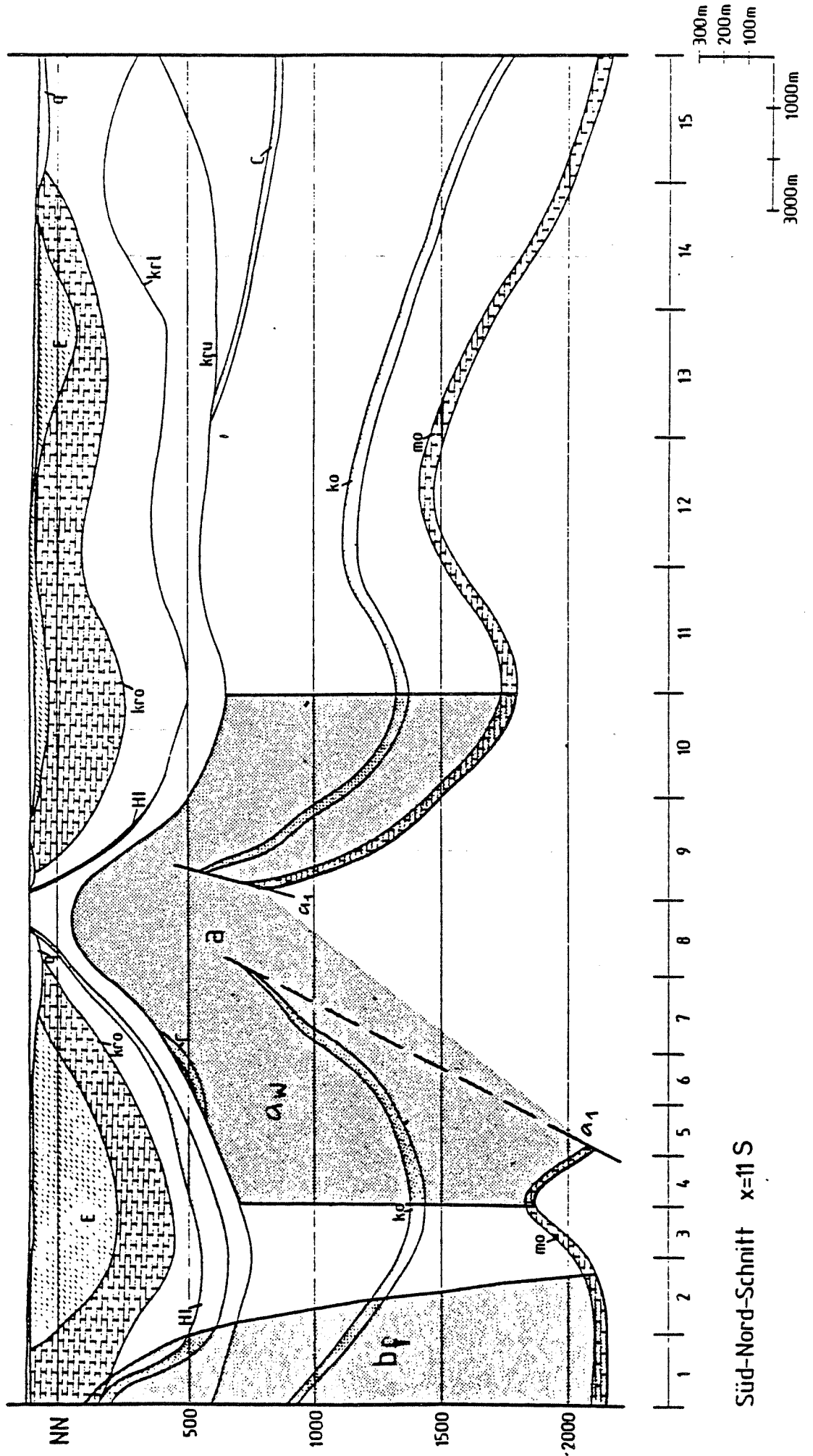
Süd-Nord-Schnitt x = 8 S



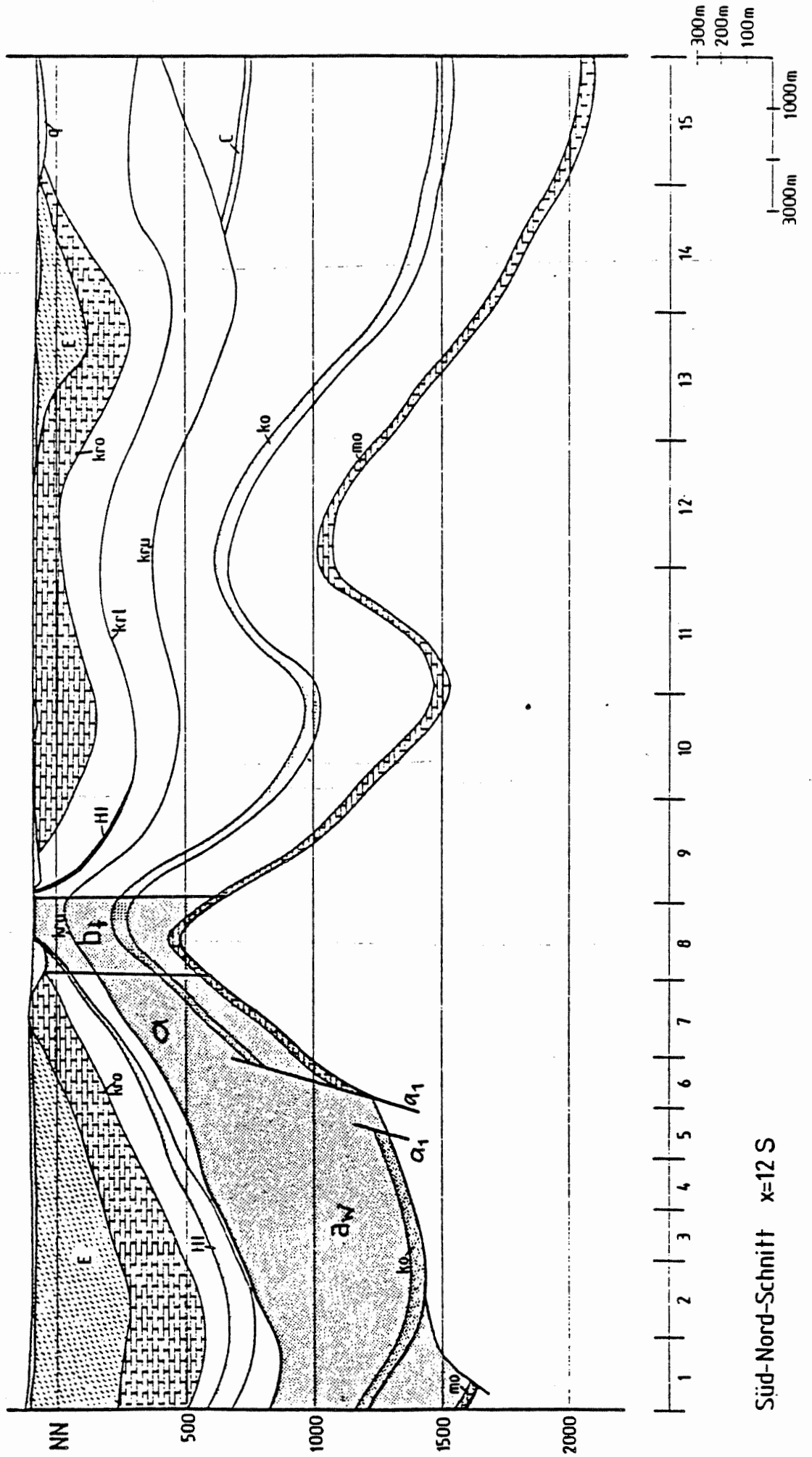
Süd-Nord-Schnitt x=9 S



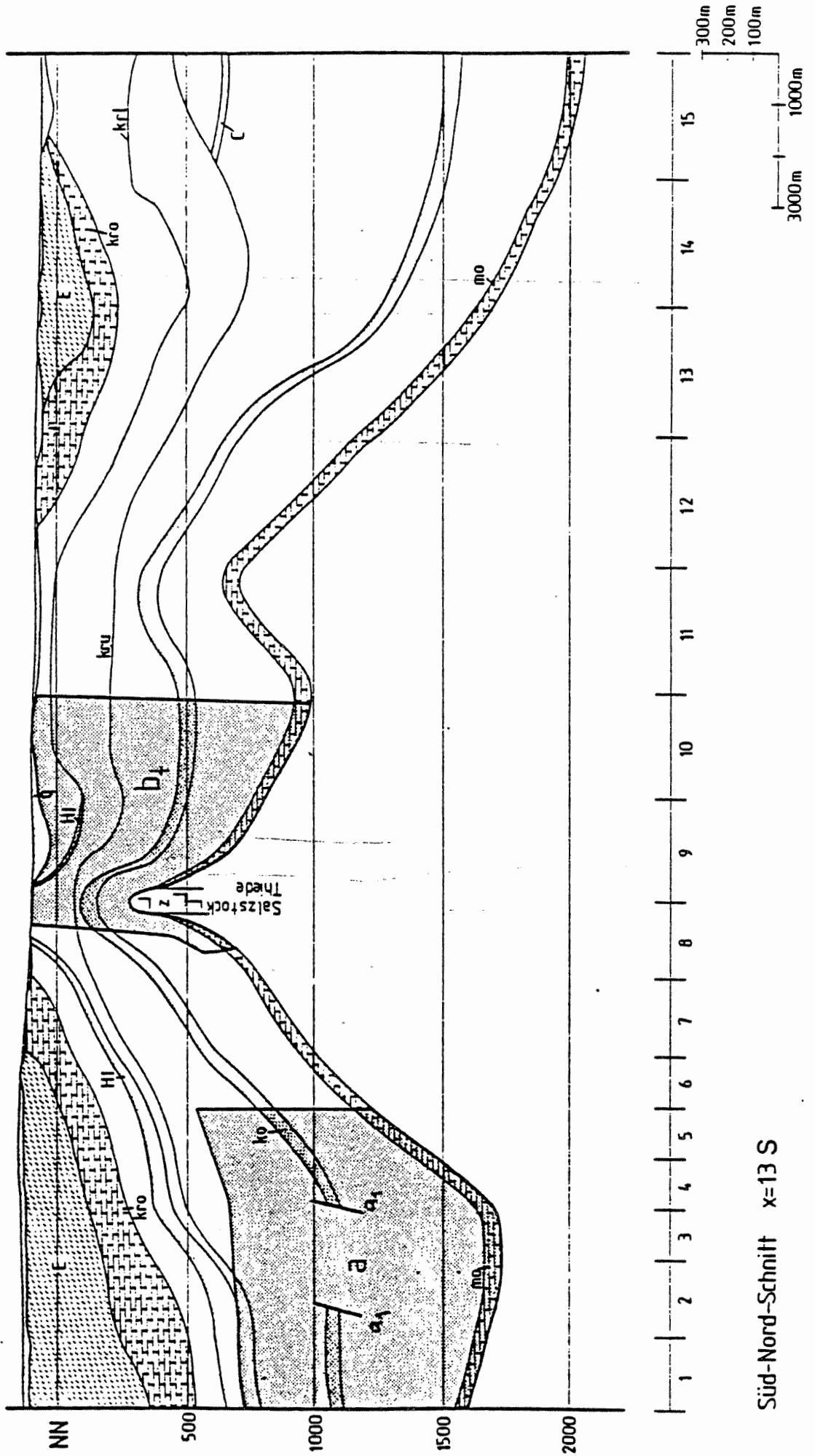




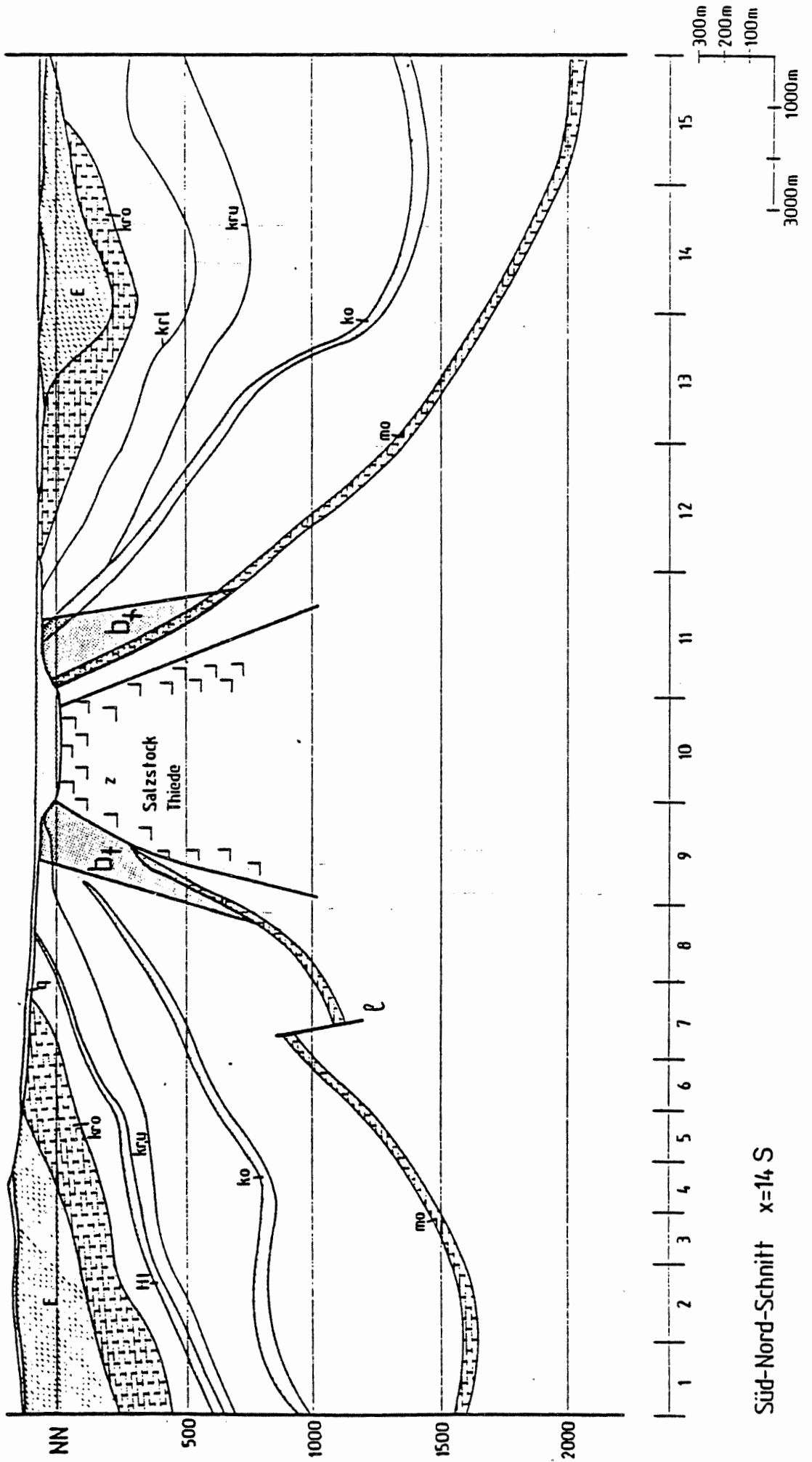
Süd-Nord-Schnitt x=11 S



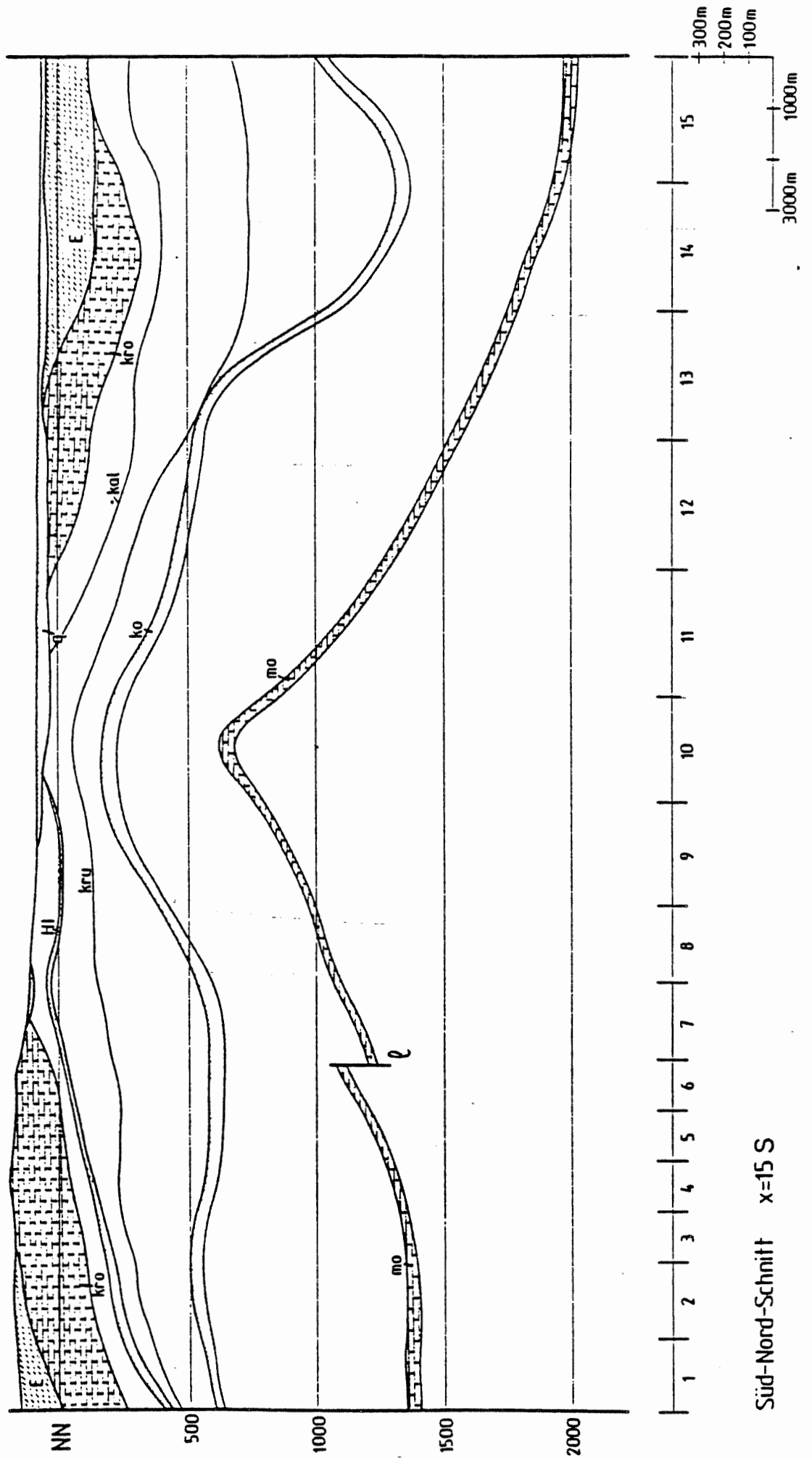
Süd-Nord-Schnitt x=12 S



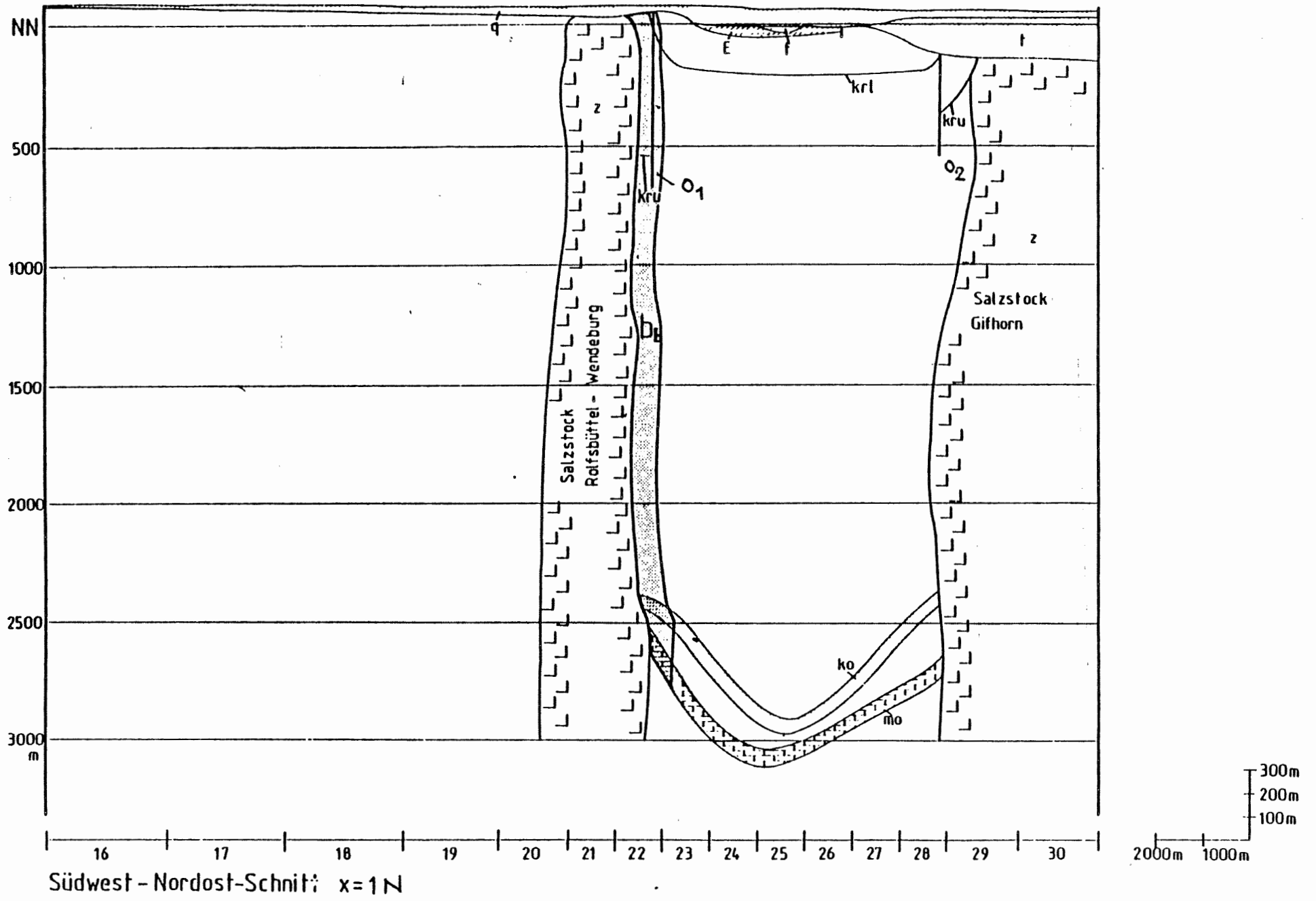
Süd-Nord-Schnitt x=13 S

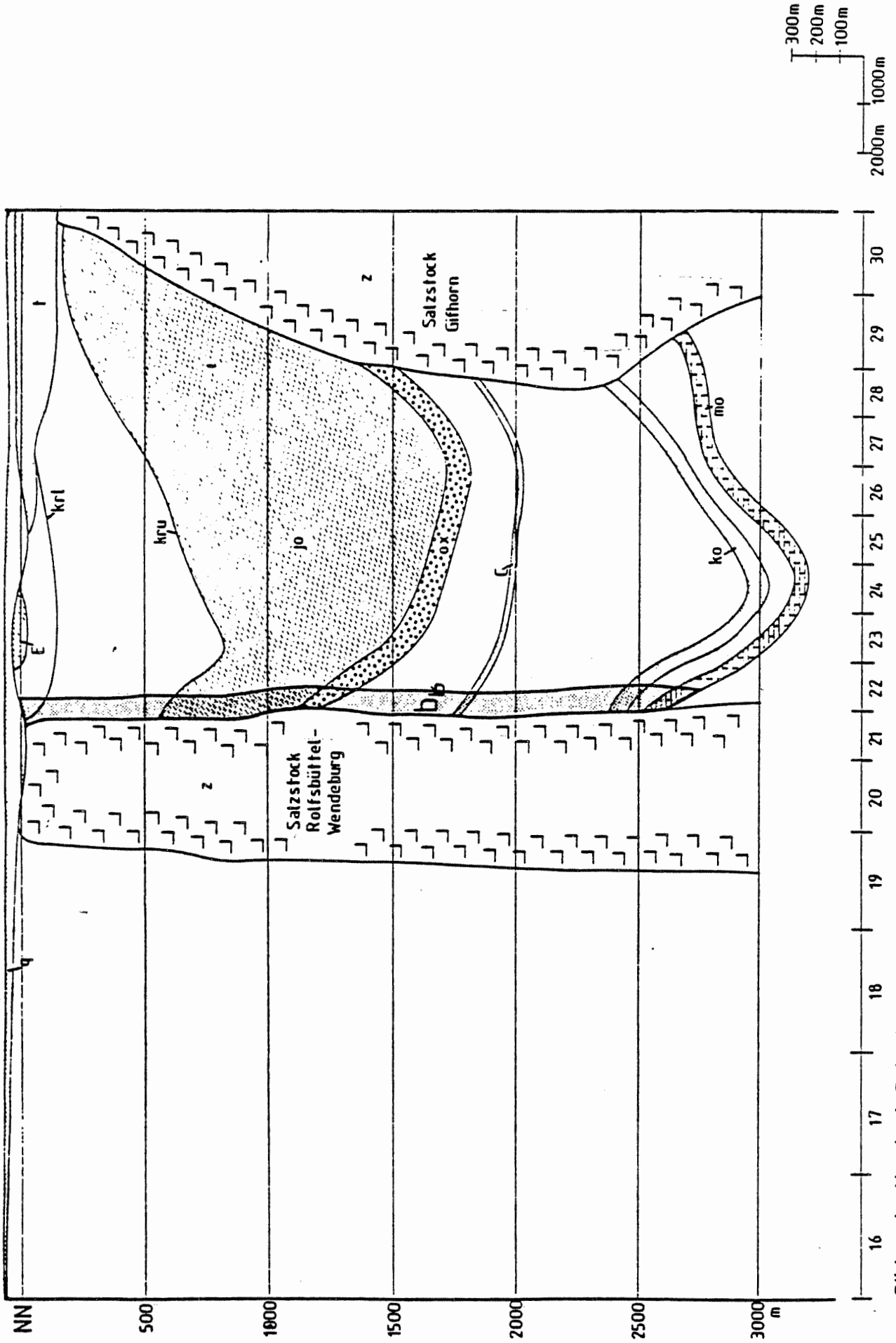


Süd-Nord-Schnitt x=14 S

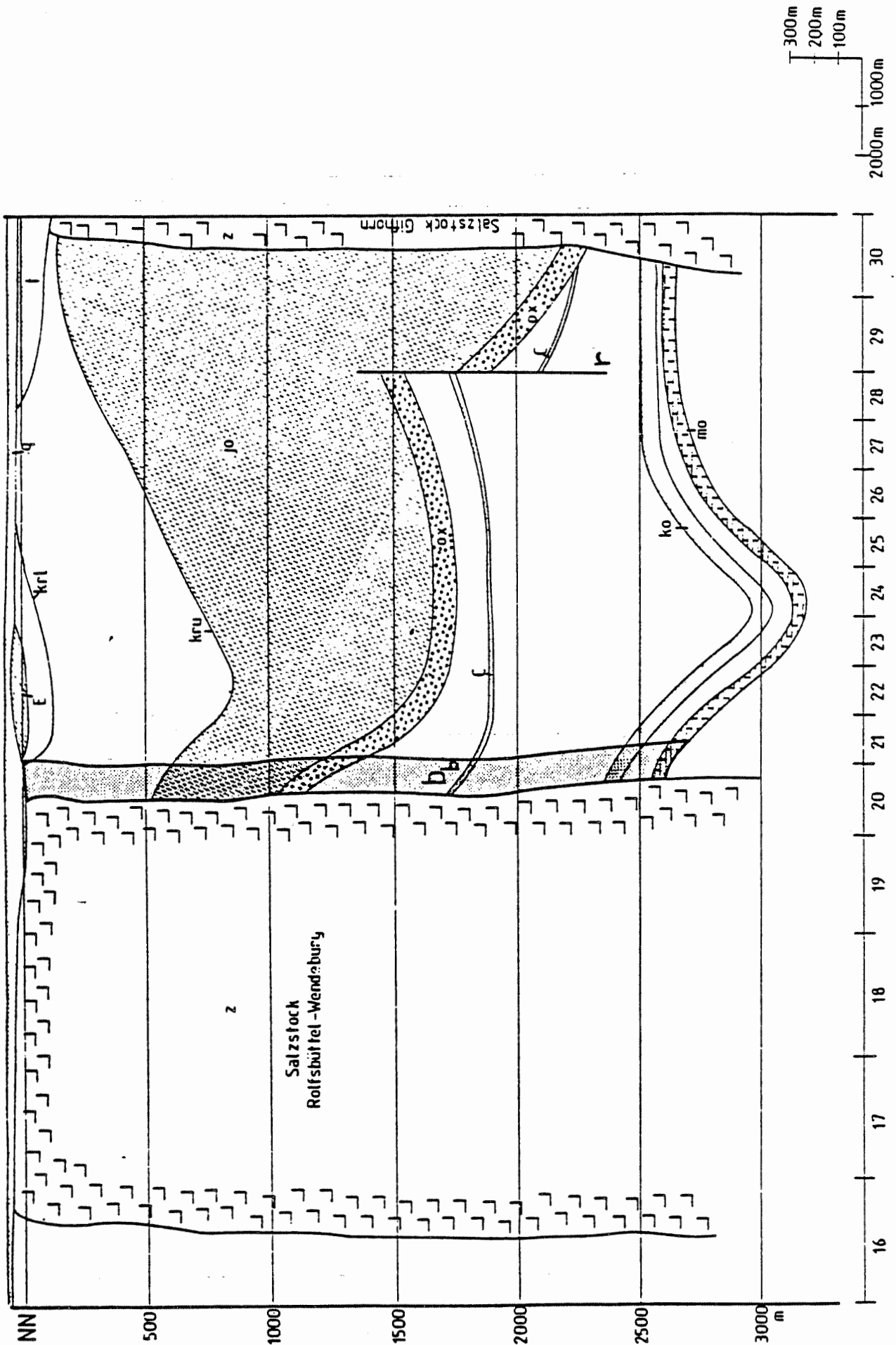


Süd-Nord-Schnitt x=15 S



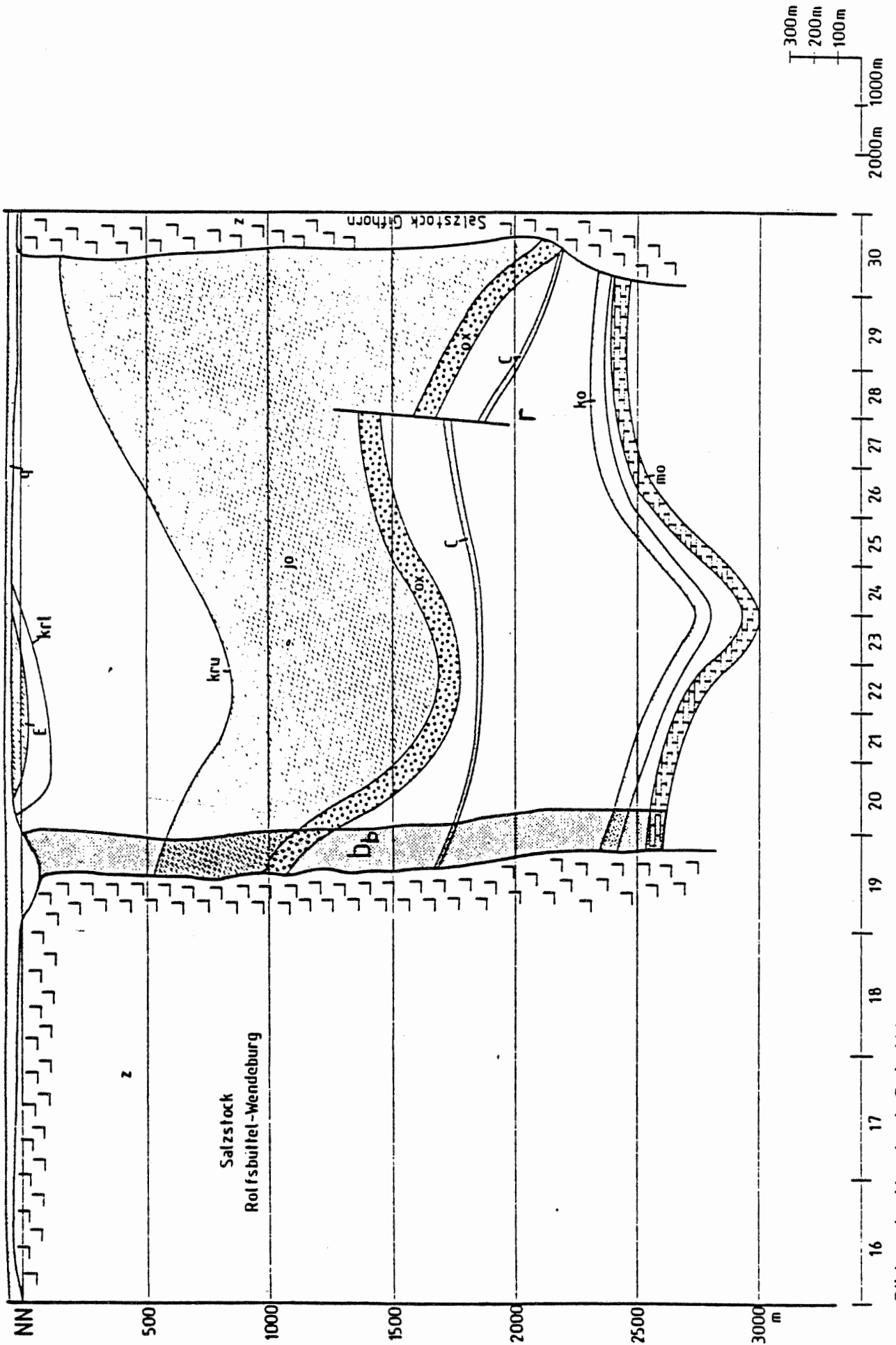


Südwest - Nordost-Schnitt x = 2 N

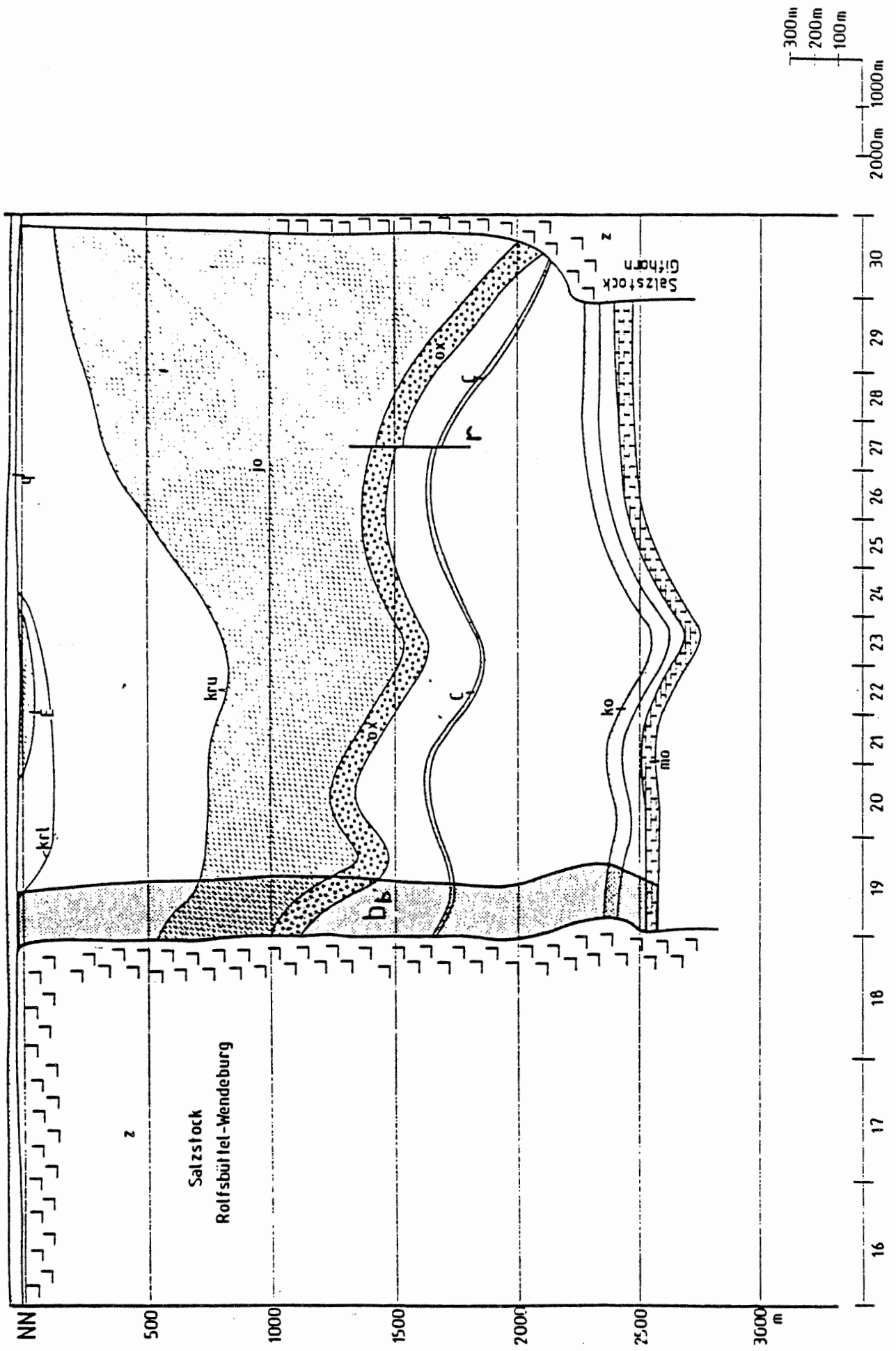


Südwest - Nordost-Schnitt x = 3 N

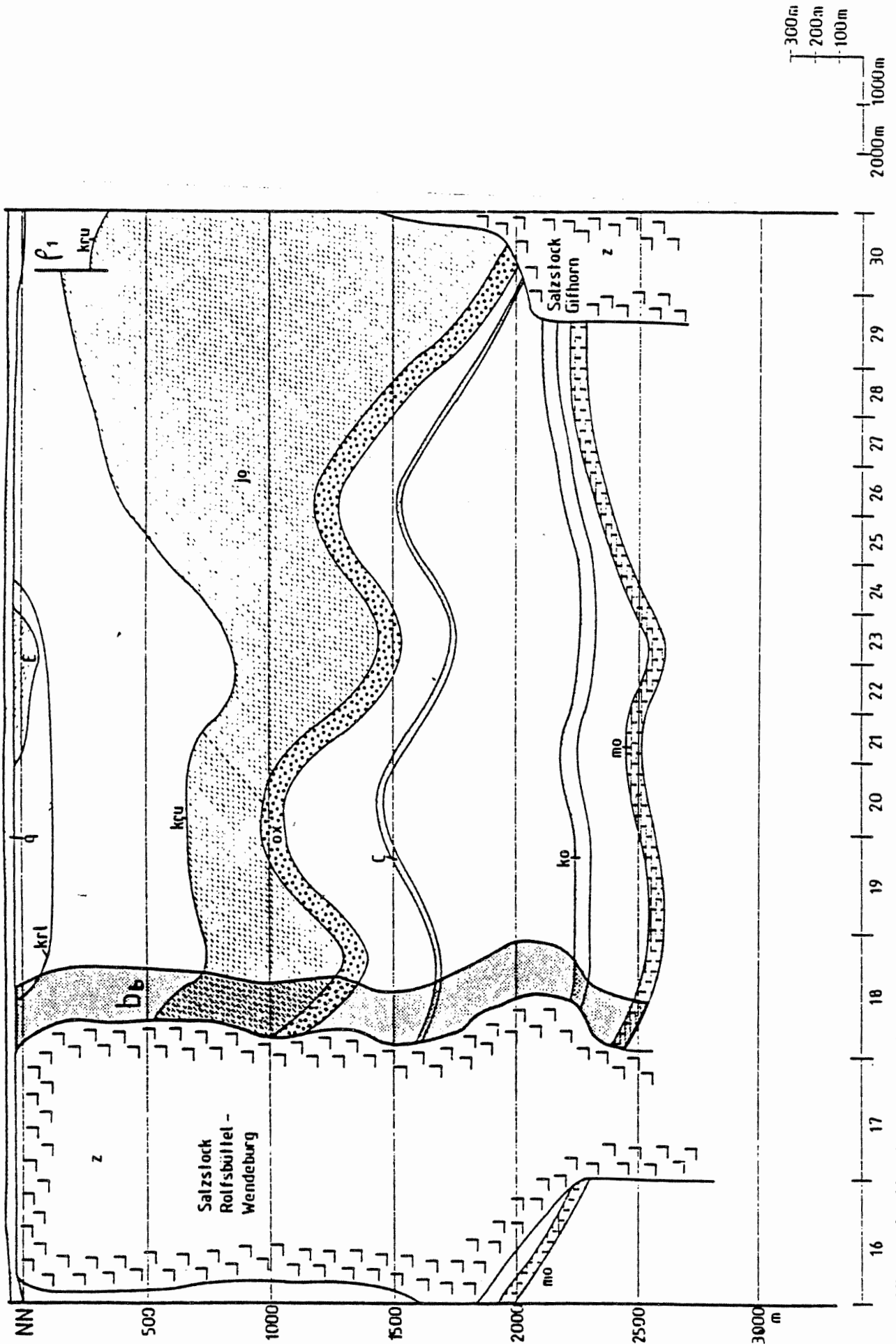




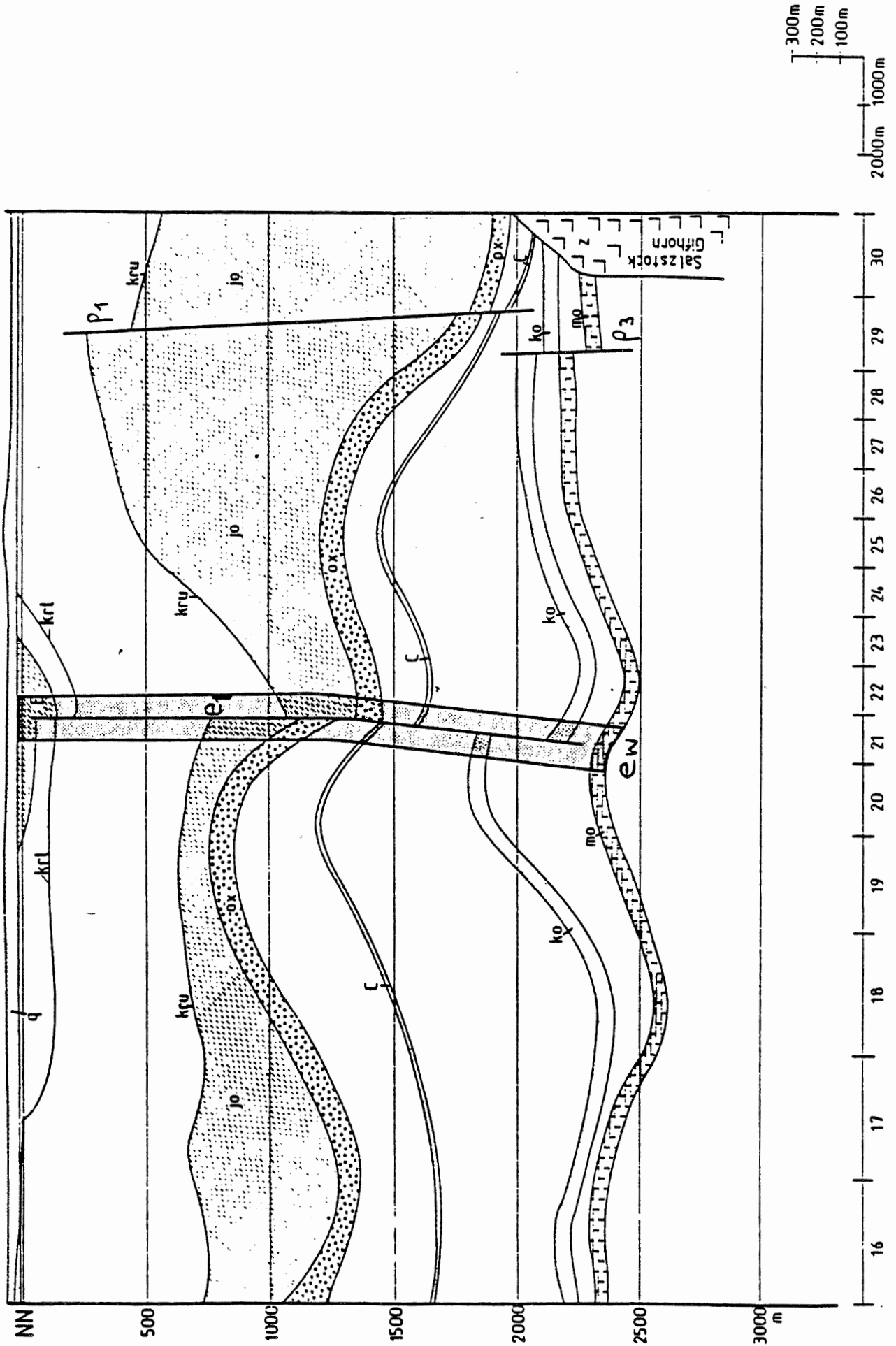
Südwest - Nordost-Schnitt x = 4 N



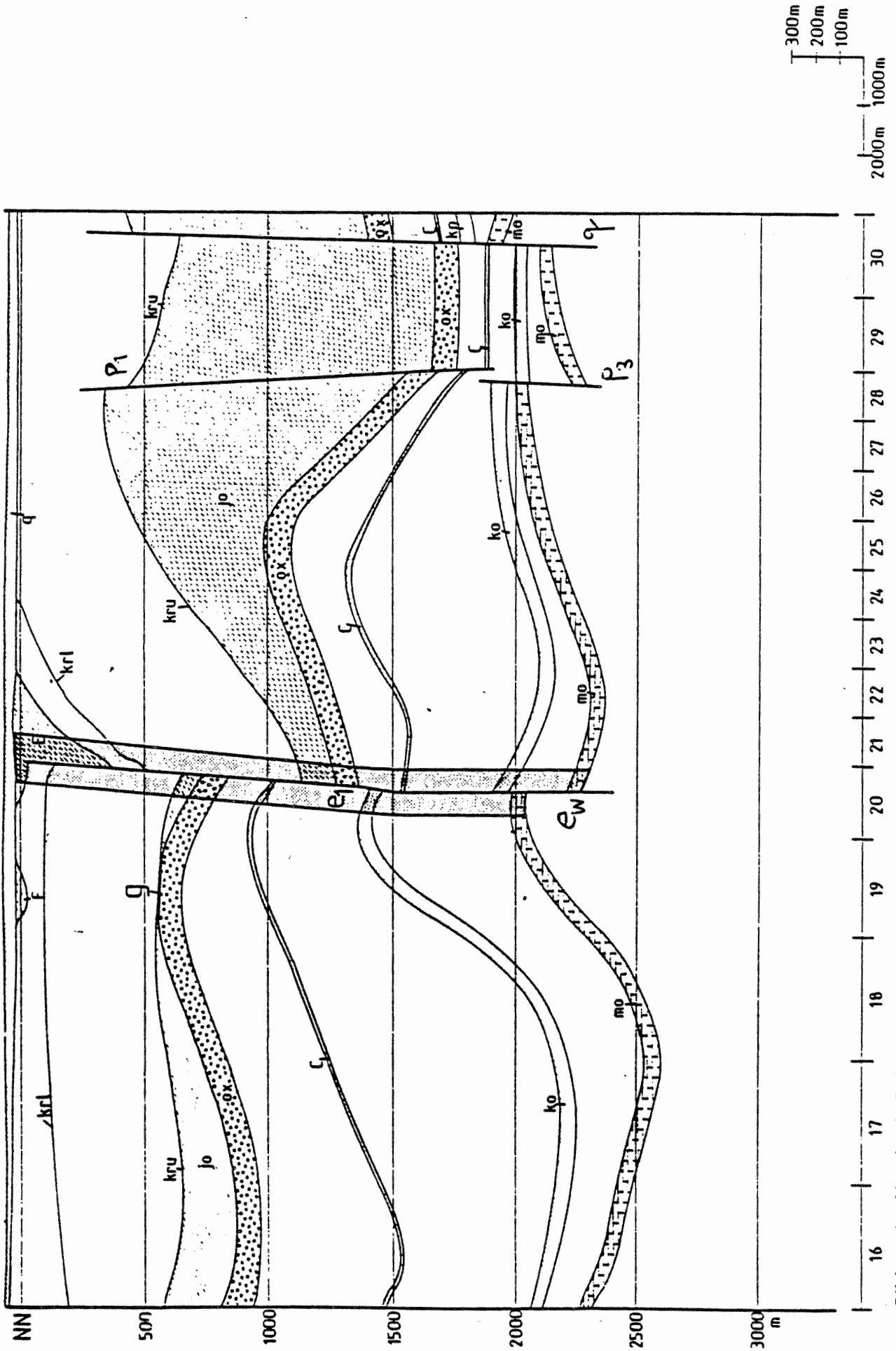
Südwest - Nordost-Schnitt x = 5N



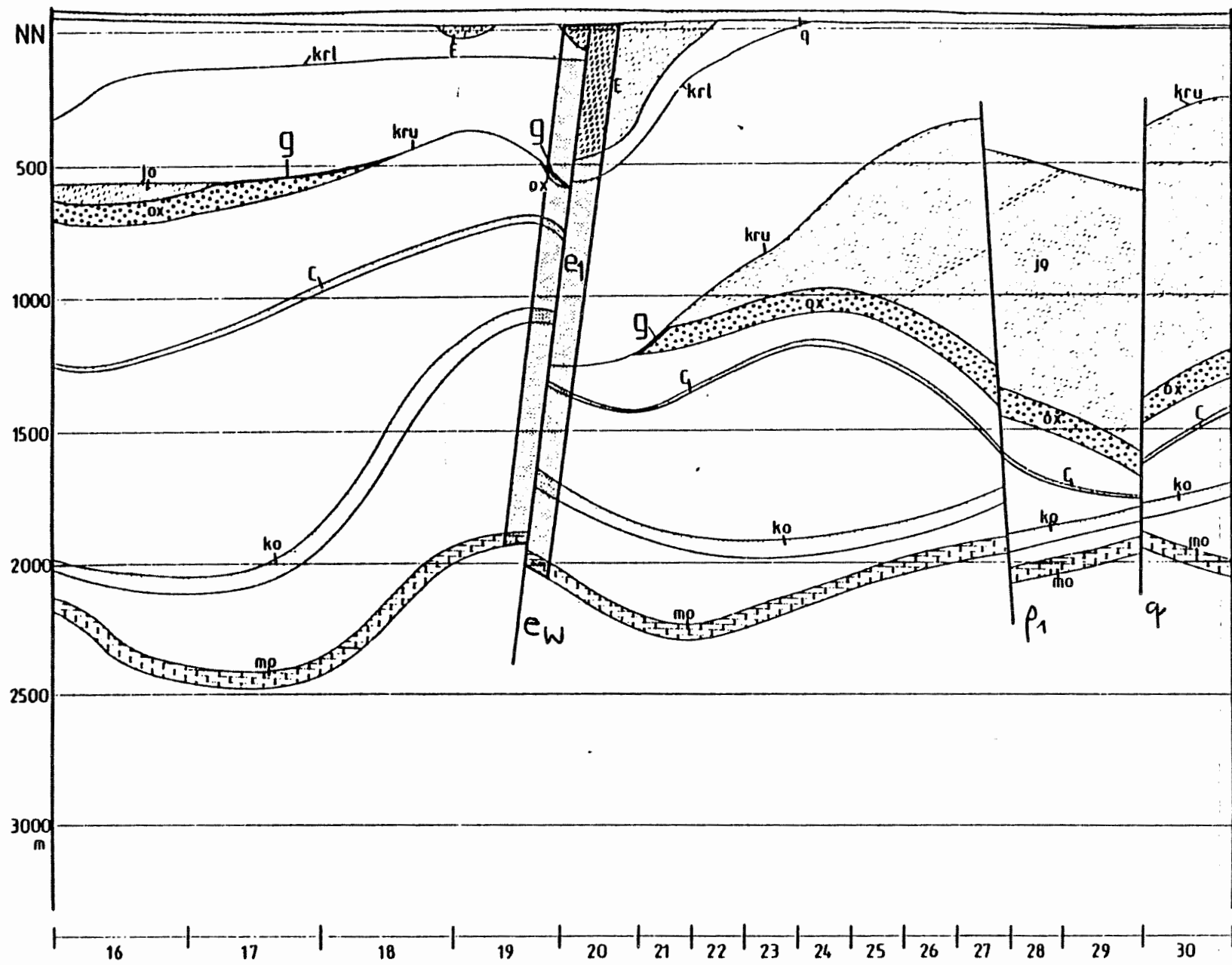
Südwest - Nordost-Schnitt x = 6 N



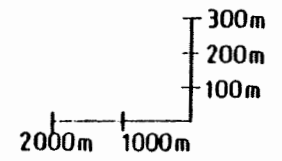
Südwest - Nordost-Schnitt x=7N

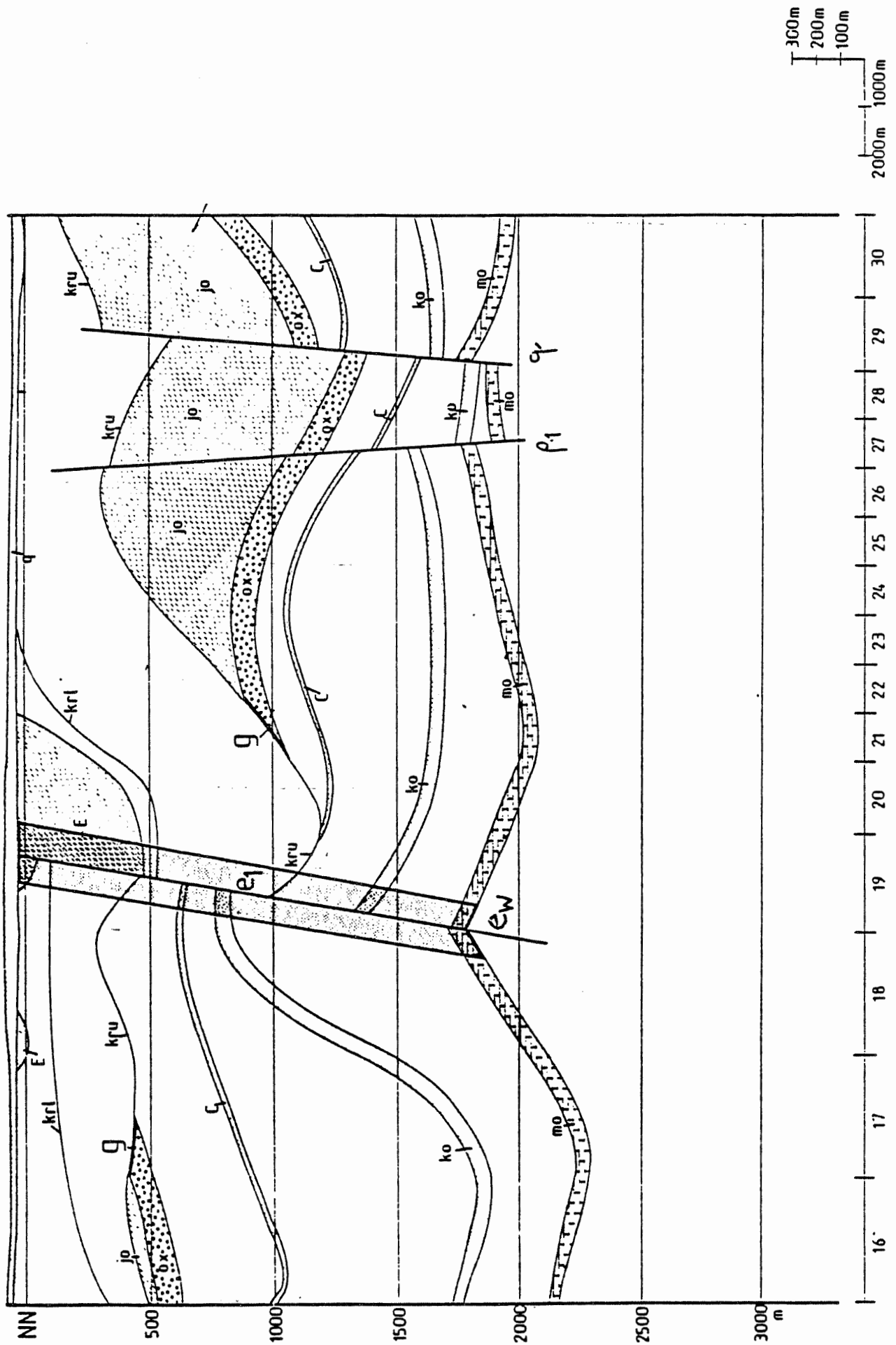


Südwest - Nordost-Schnitt x = 8 N

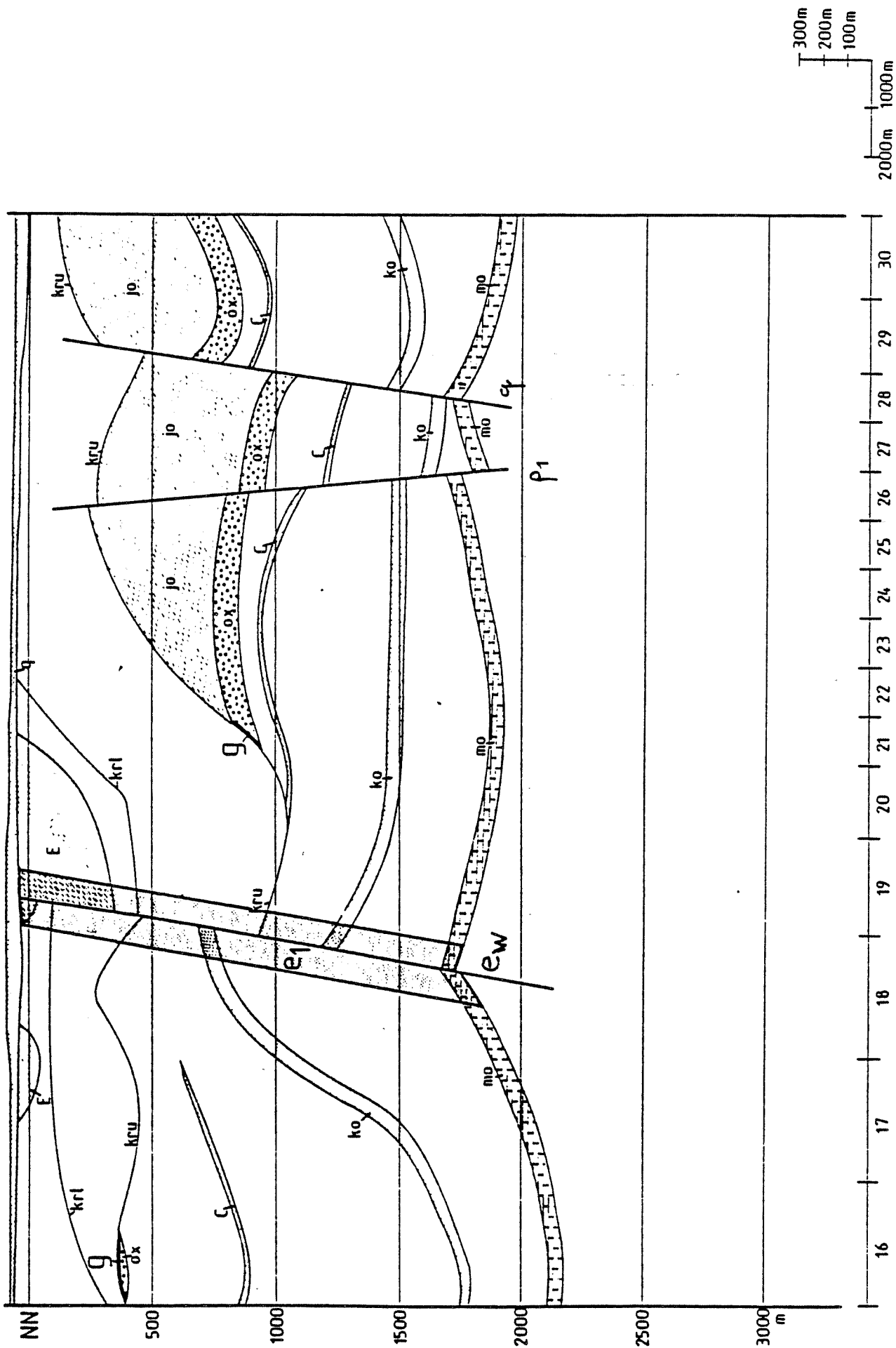


Südwest - Nordost-Schnitt x= 9 N



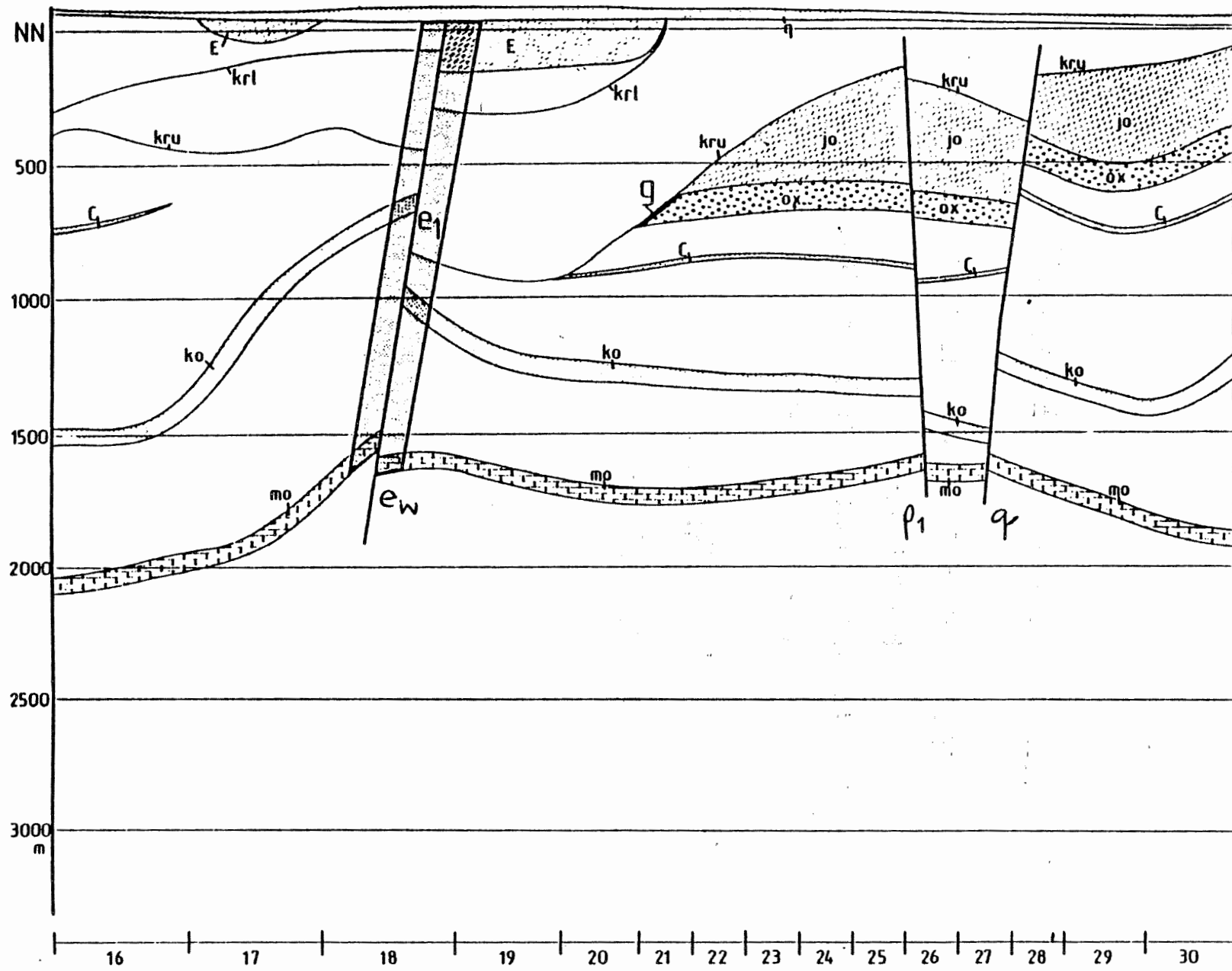


Südwest - Nordost-Schnitt x=10N

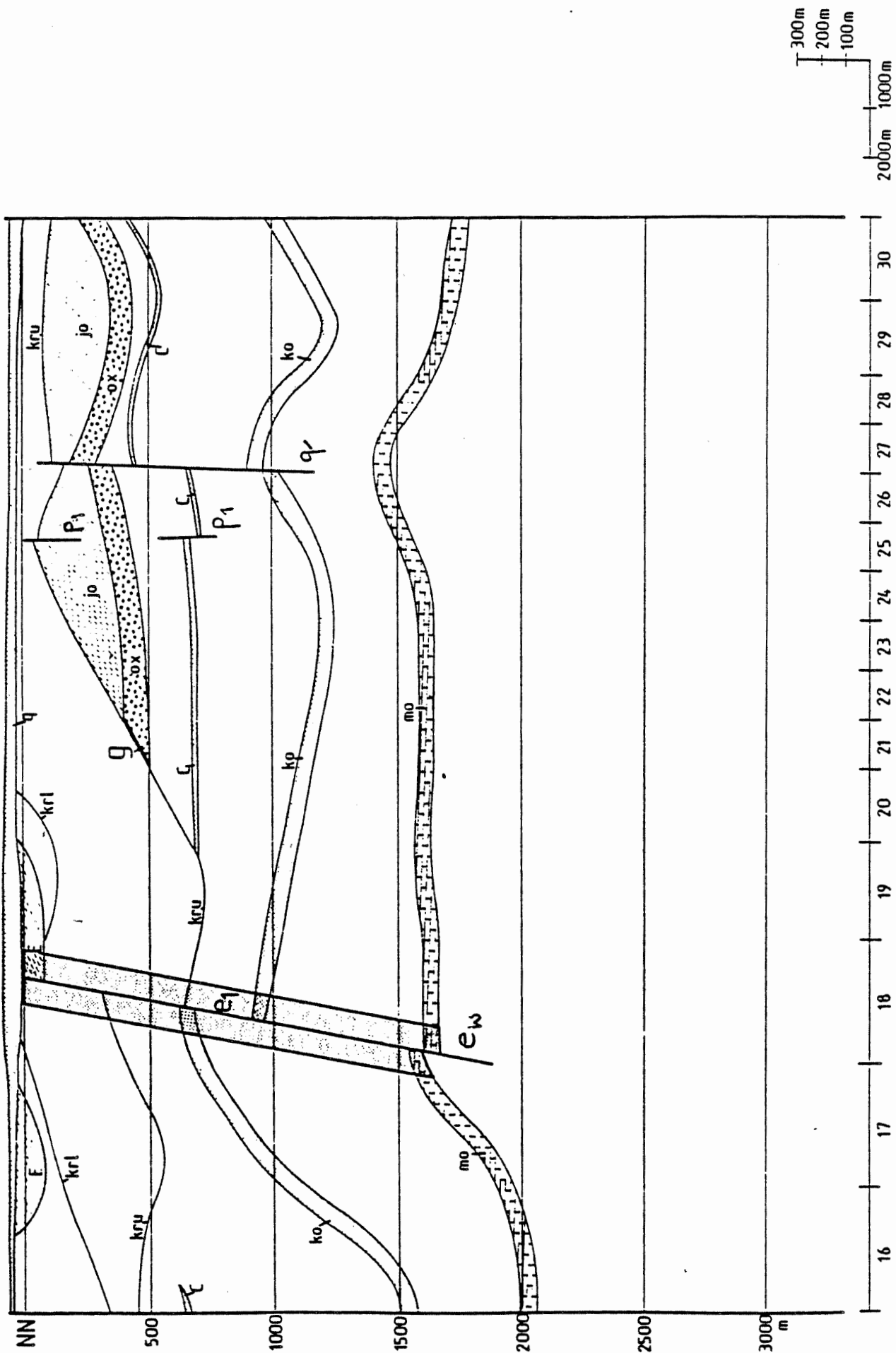


Südwest - Nordost-Schnitt x=11 N

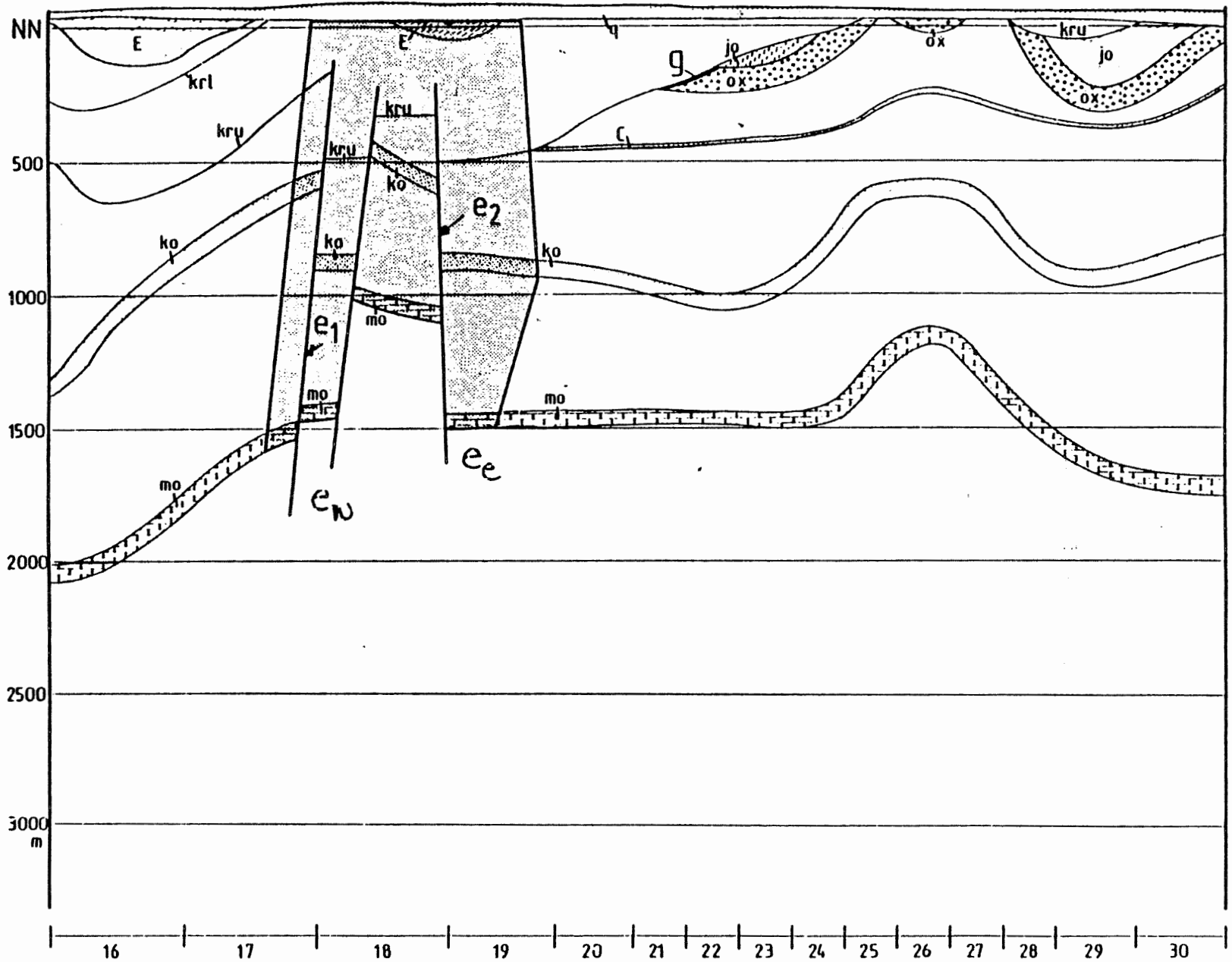




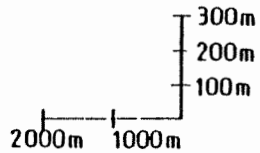
Südwest - Nordost-Schnitt x=12 N

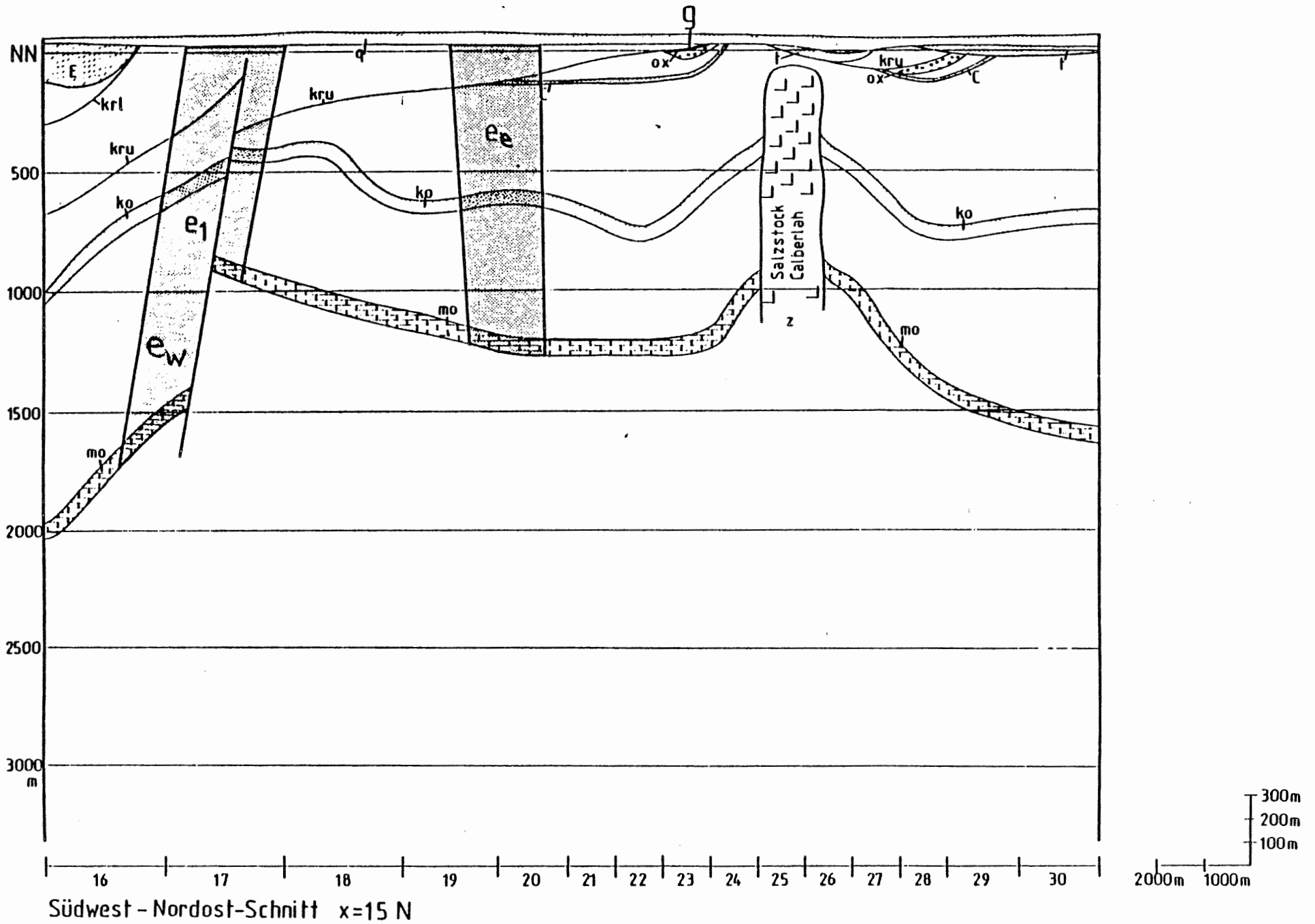


Südwest - Nordost - Schnitt x=13 N



Südwest - Nordost-Schnitt x=14 N





## ANHANG B

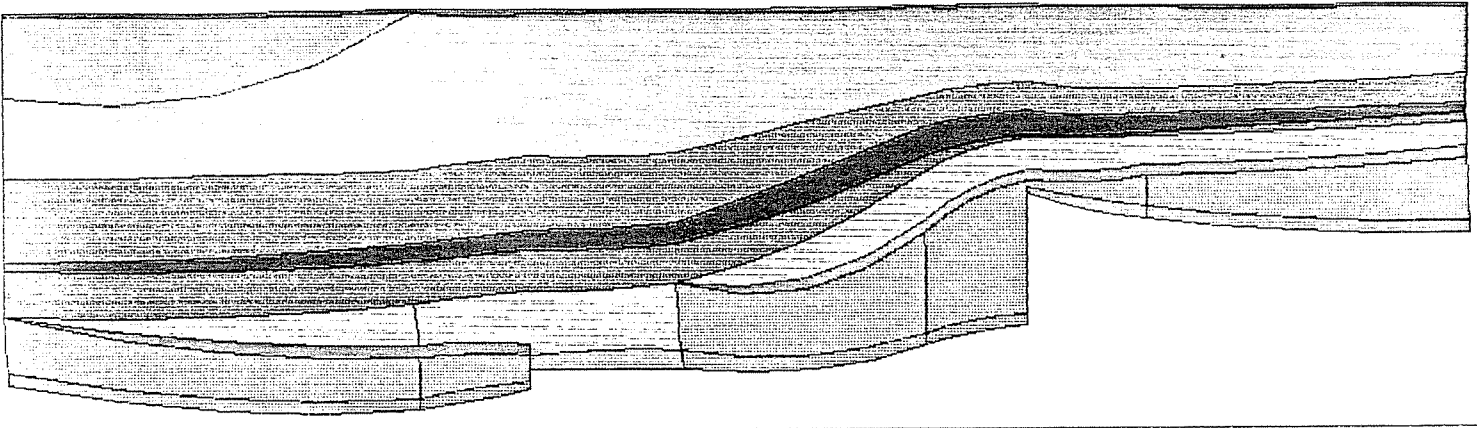
### MODELLSCHNITTE MIT HYDROGEOLOGISCHEN SCHICHTEINHEITEN UND STÖRZONEN

B1	Schnitt 1
B2	Schnitt 2
B3	Schnitt 3
B4	Schnitt 4
B5	Schnitt 5
B6	Schnitt 6
B7	Schnitt 7
B8	Schnitt 8
B9	Schnitt 9
B10	Schnitt 10
B11	Schnitt 12
B12	Schnitt 13
B13	Schnitt 14
B14	Schnitt 15
B15	Schnitt 16
B16	Schnitt 17
B17	Schnitt 18
B18	Schnitt 19

SCHNITT1.EL PTB.XYZ 234/0

K-CLASSES

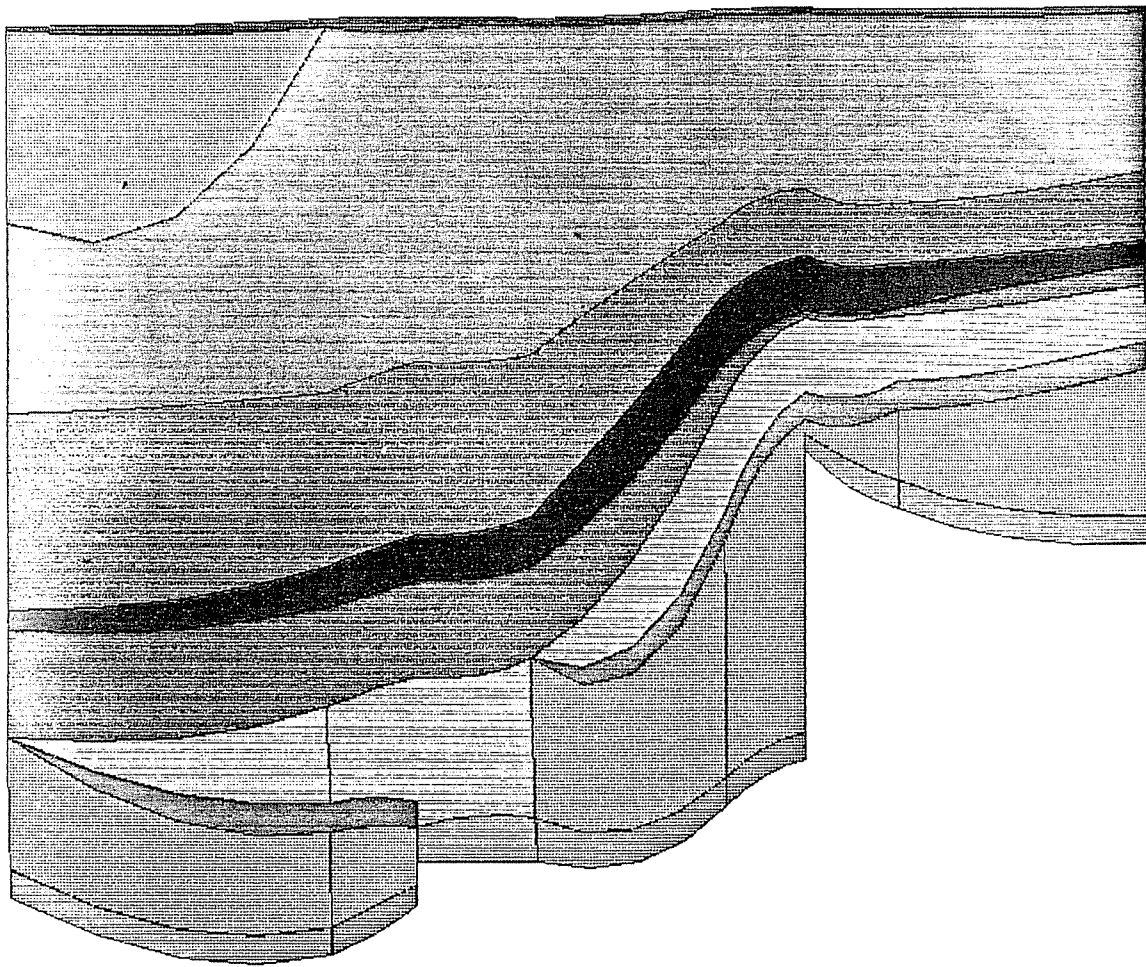
D T E KPO ALB HL KRU JO G DX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



SCHNITT1.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 234/0

K-CLASSES

D T E KPO ALB HL KRU JO G DX GRUB D C-N C-S L KO K MO S

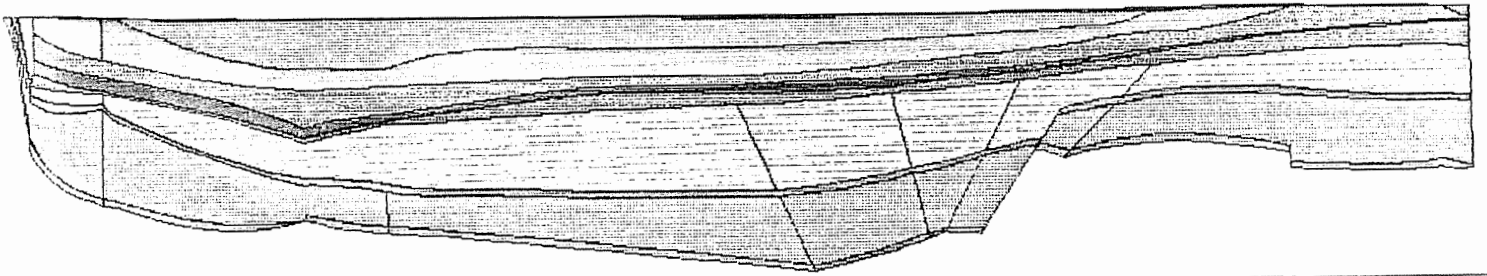


B1 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 1

SCHNITT2.EL PTB.XYZ 163/0

K-CLASSES

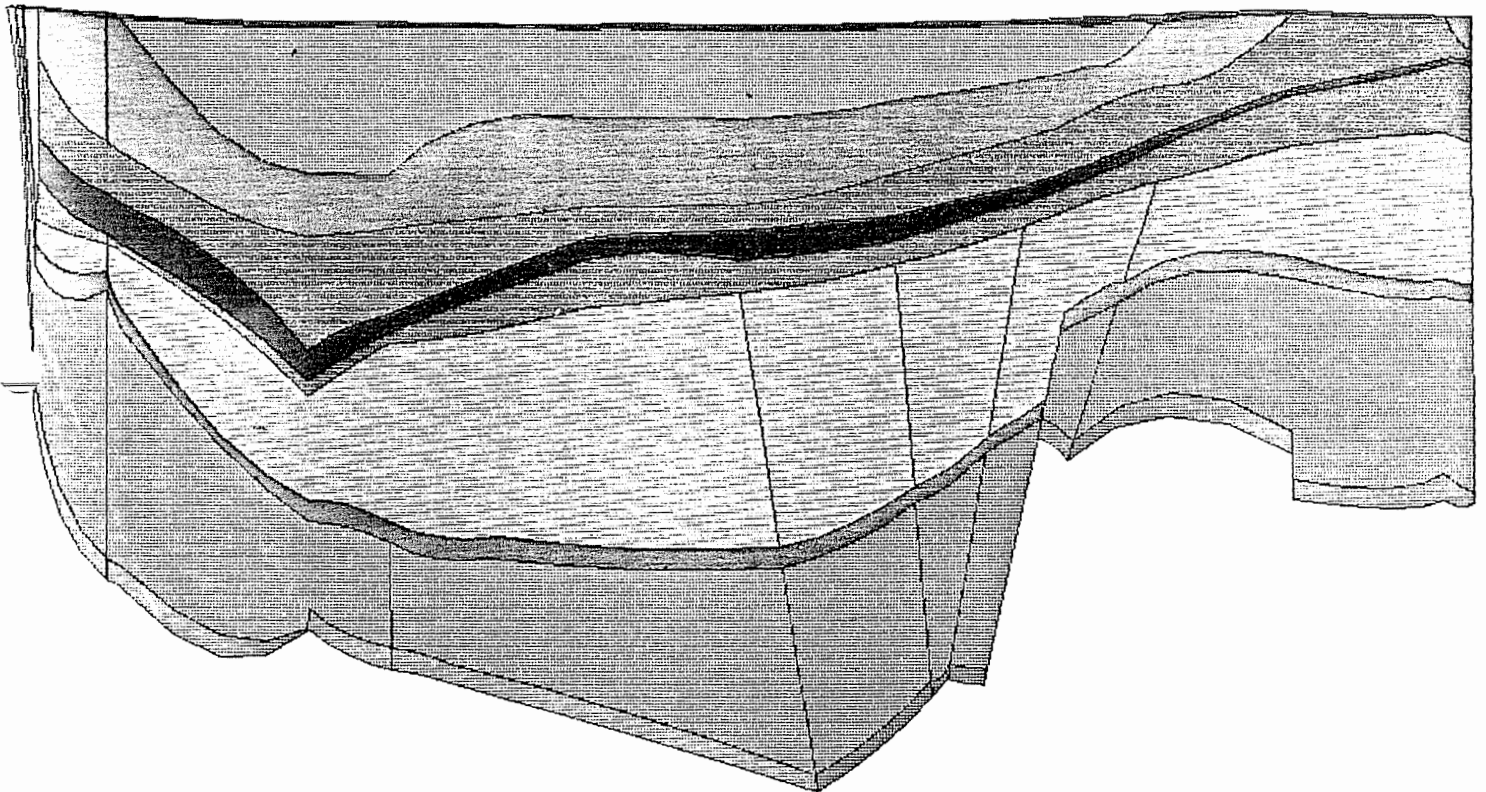
D T E KRD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



SCHNITT2.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 163/0

K-CLASSES

D T E KRD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



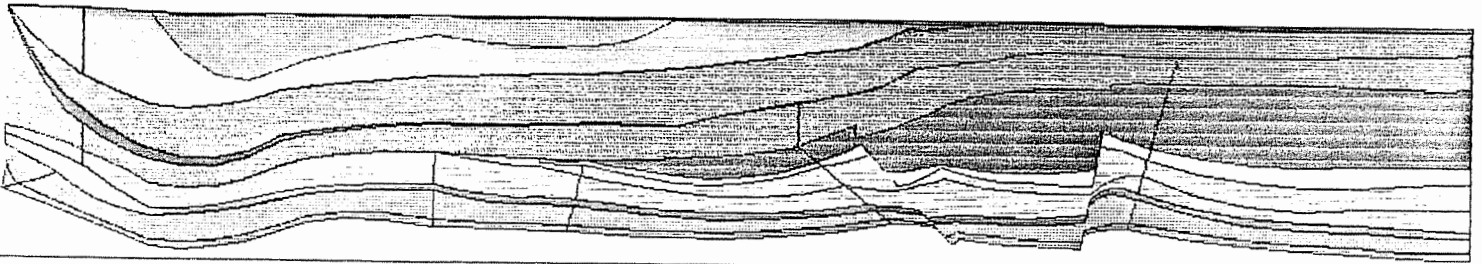
B2 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 2



SCHNITT3.EL PTB.XYZ 103/0

F-CLASSES

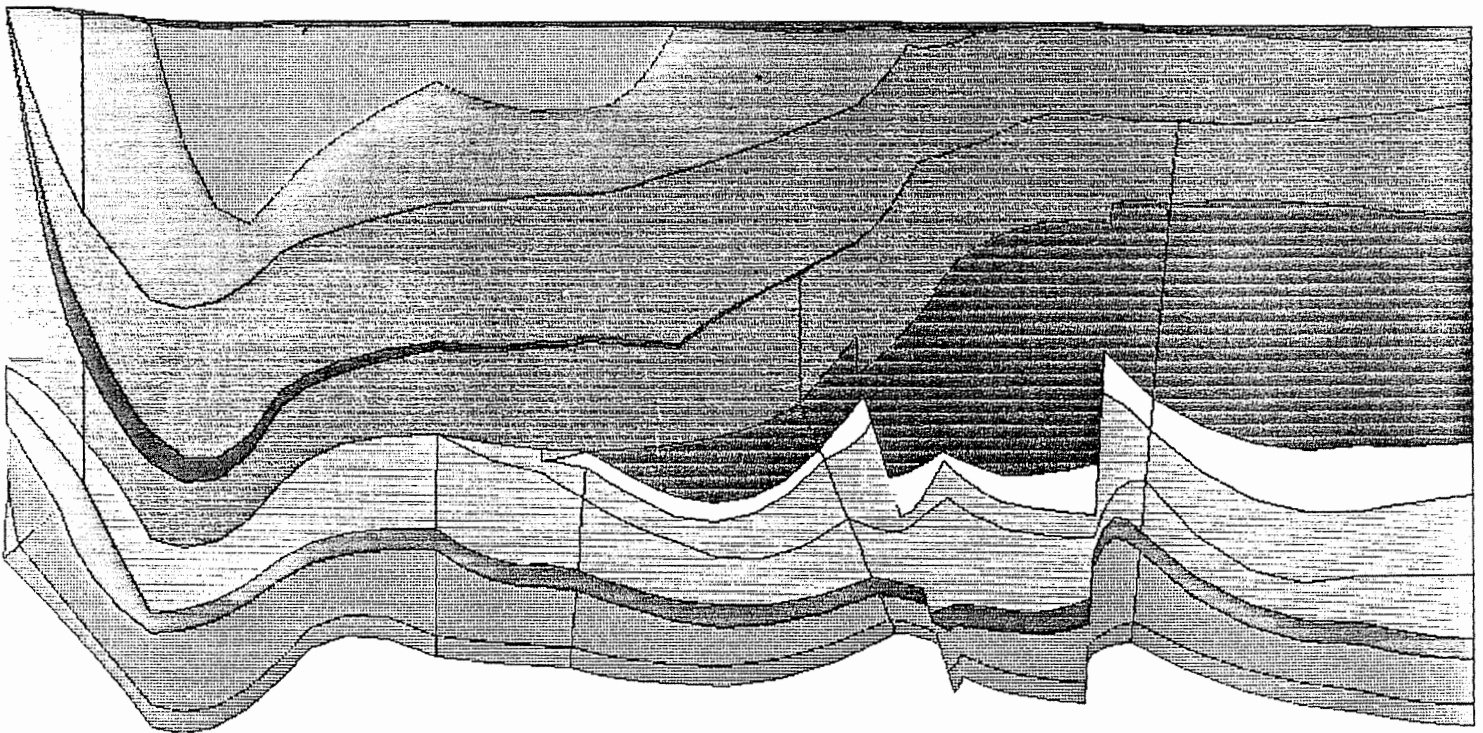
G T E KPD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



SCHNITT3.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 103/0

K-CLASSES

G T E KPD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



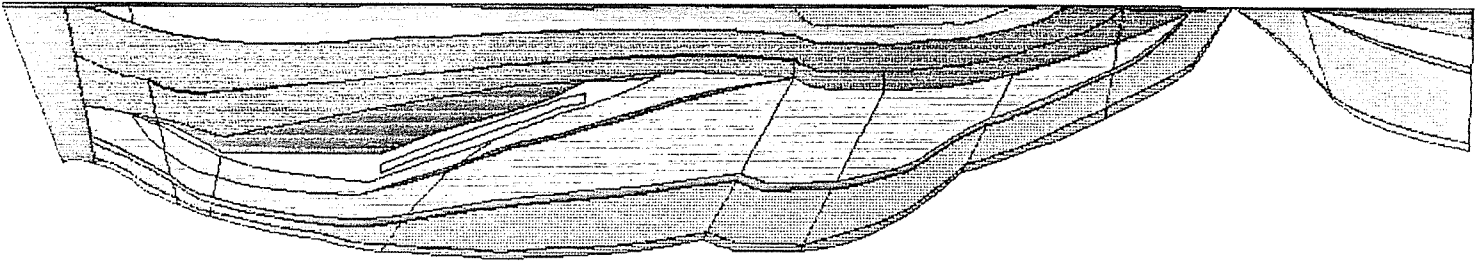
B3 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 3



SCHNITT4.EL PTB.XYZ 177/0

K-CLASSES

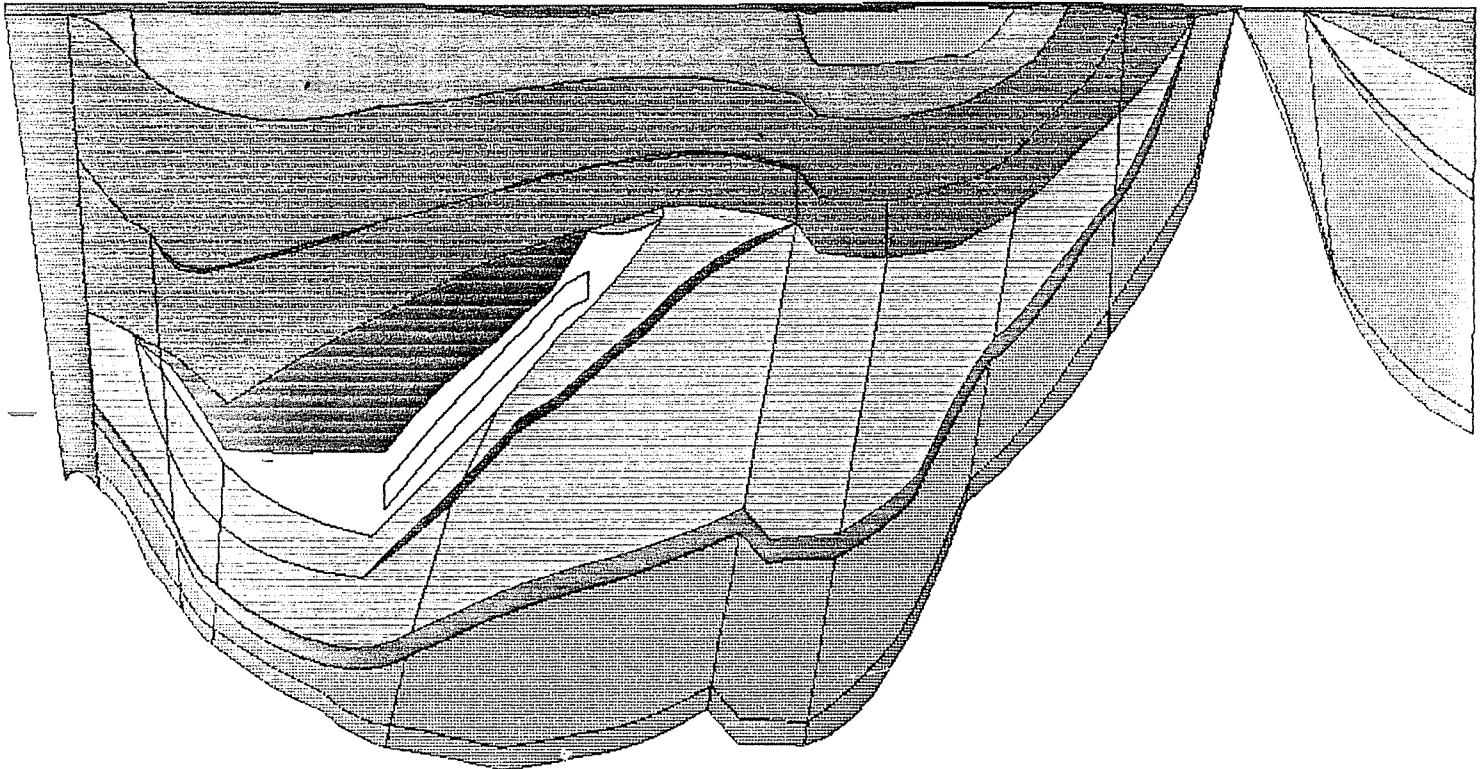
D T E KRD ALB HL KRU JO G QX GRUB D C-N C-S L KO K I10 S



SCHNITT4.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 177/0

K-CLASSES

D T E KRD ALB HL KRU JO G QX GRUB D C-N C-S L KO K I10 S

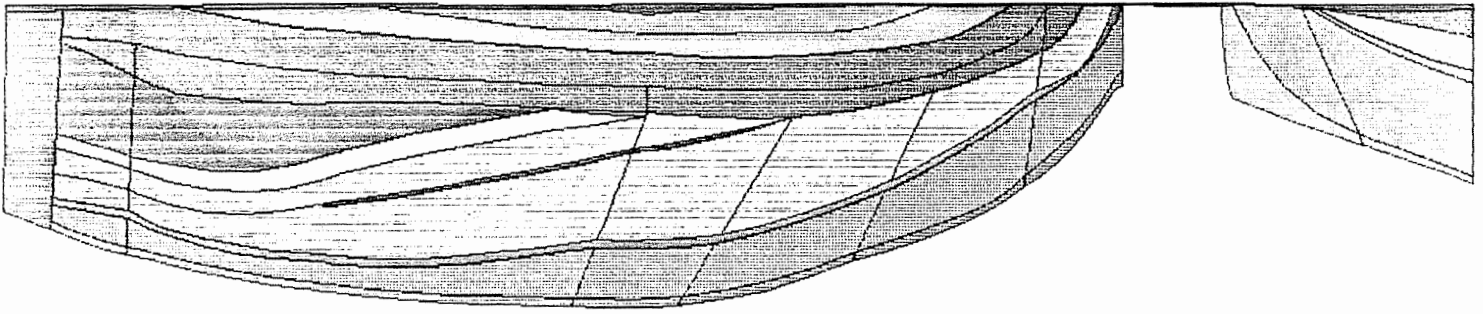


B4 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 4

SCHNITT5.EL PTB.XYZ 186/0

K-CLASSES

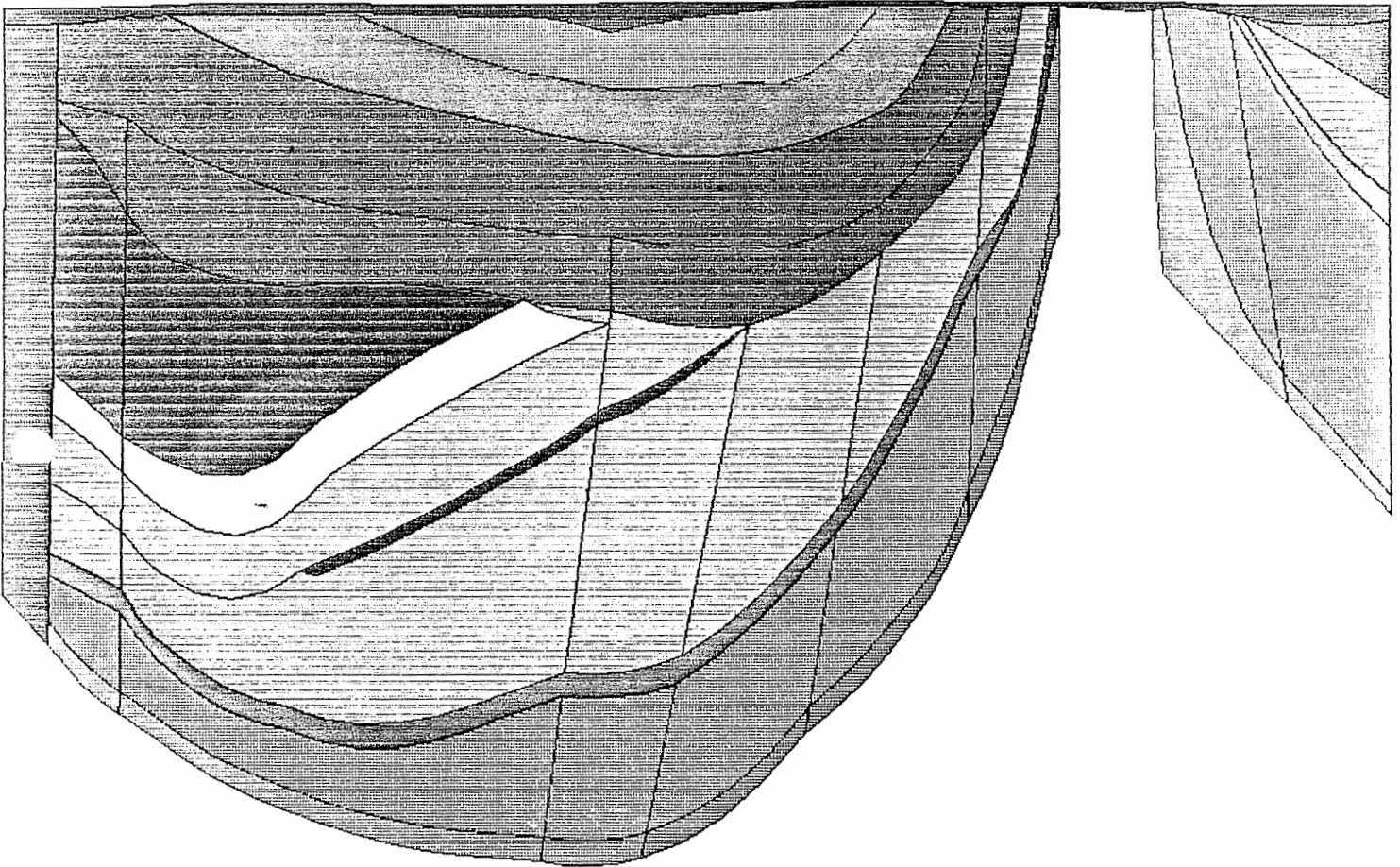
D T E KRD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



SCHNITT5.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 186/0

CLASSES

D T E KRD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S

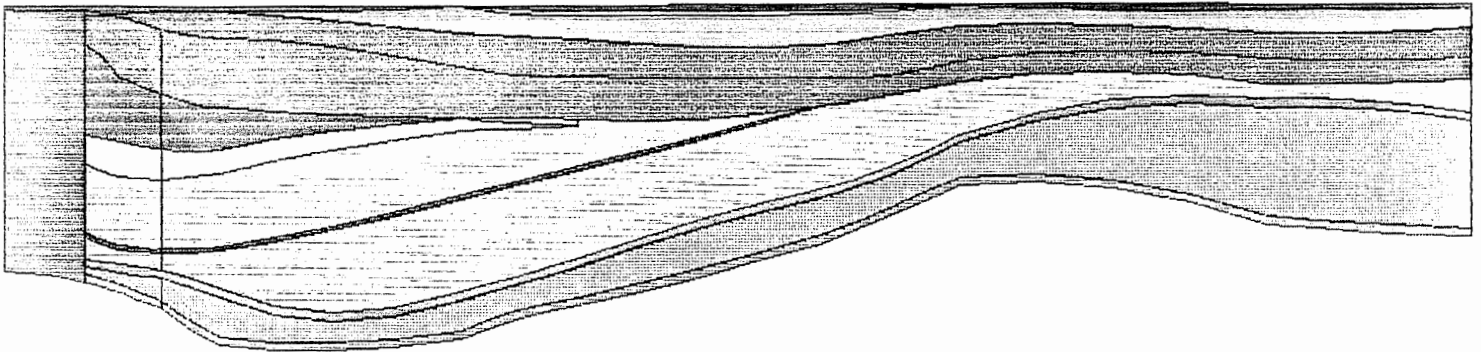


B5 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 5

SCHNITT6.EL PTB.XYZ 200/0

K-CLASSES

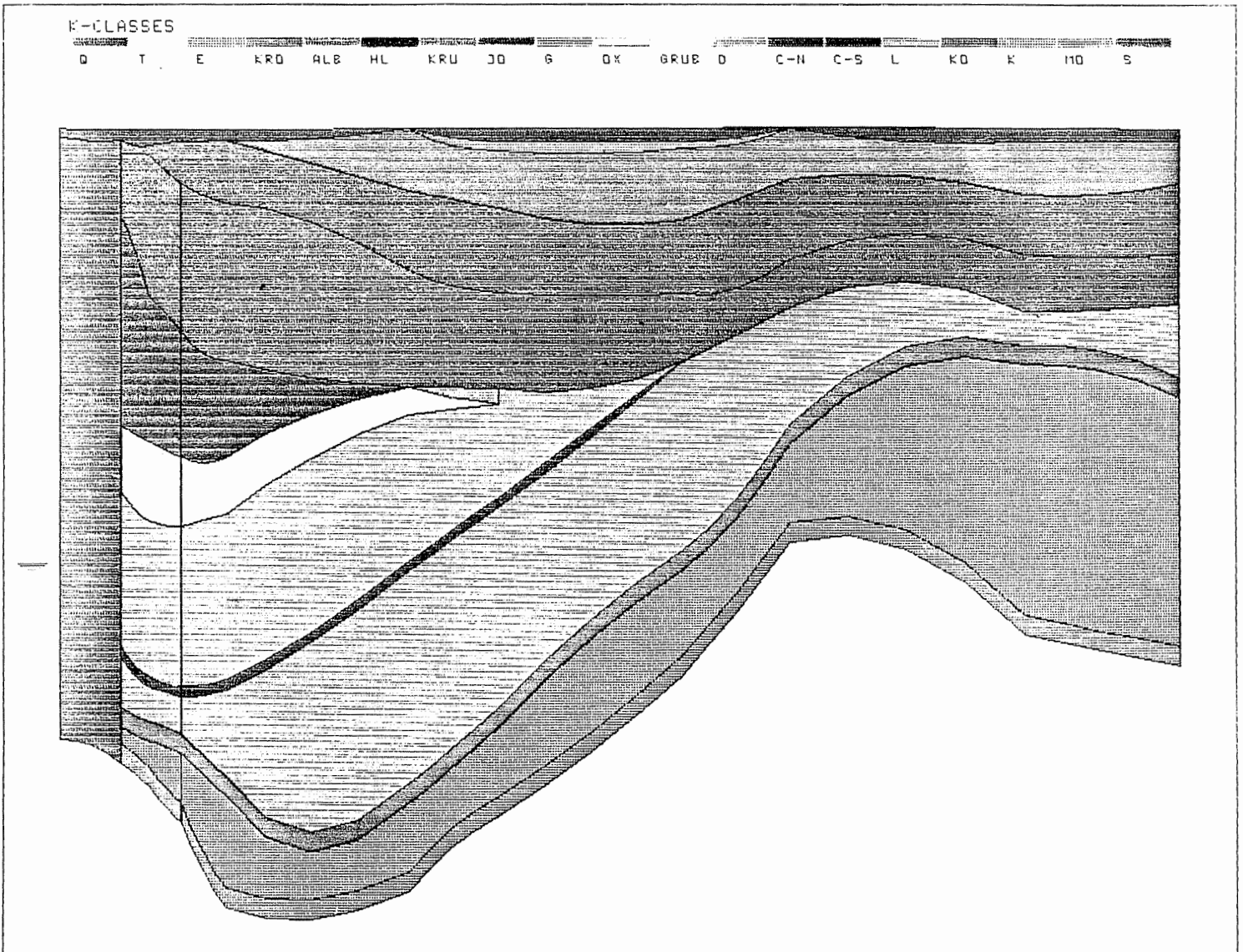
D T E KRD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



SCHNITT6.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 200/0

K-CLASSES

D T E KRD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



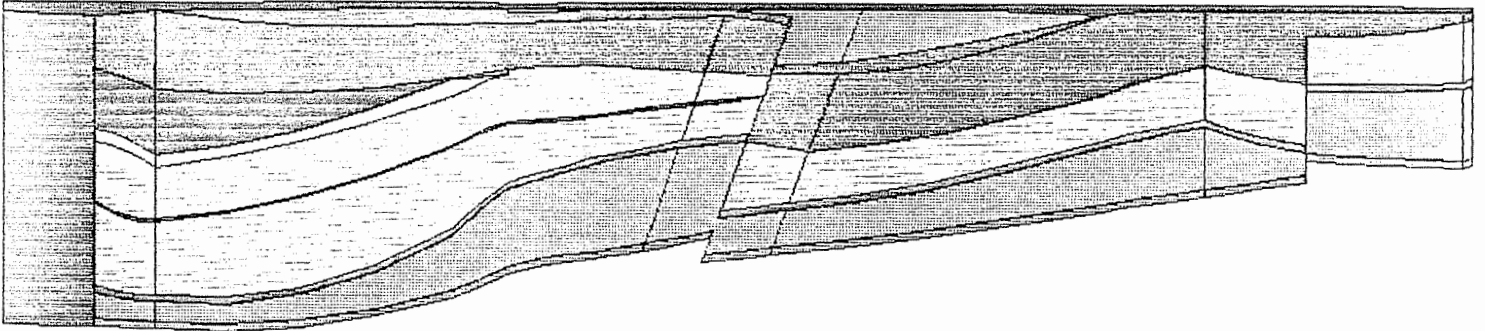
B6 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 6



SCHNITT7.EL PTB.XYZ 174/0

K-CLASSES

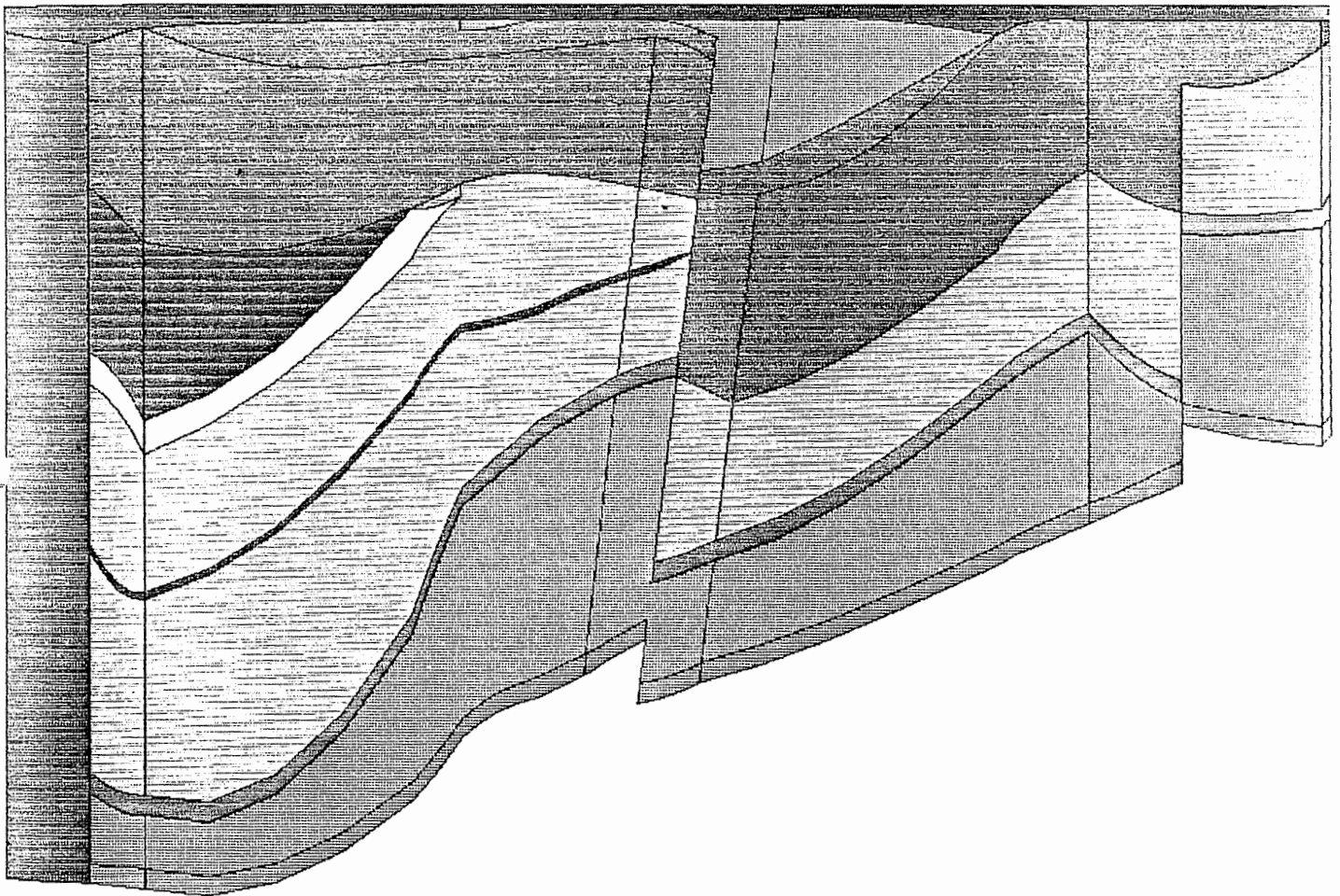
D T E KRD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K HO S



SCHNITT7.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 174/0

K-CLASSES

D T E KRD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K HO S

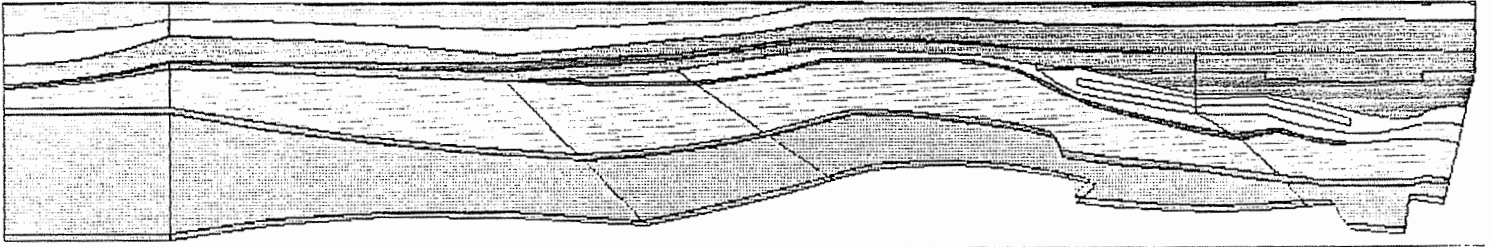


B7 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 7

SCHNITT8.EL PTB.XYZ 77/0

K-CLASSES

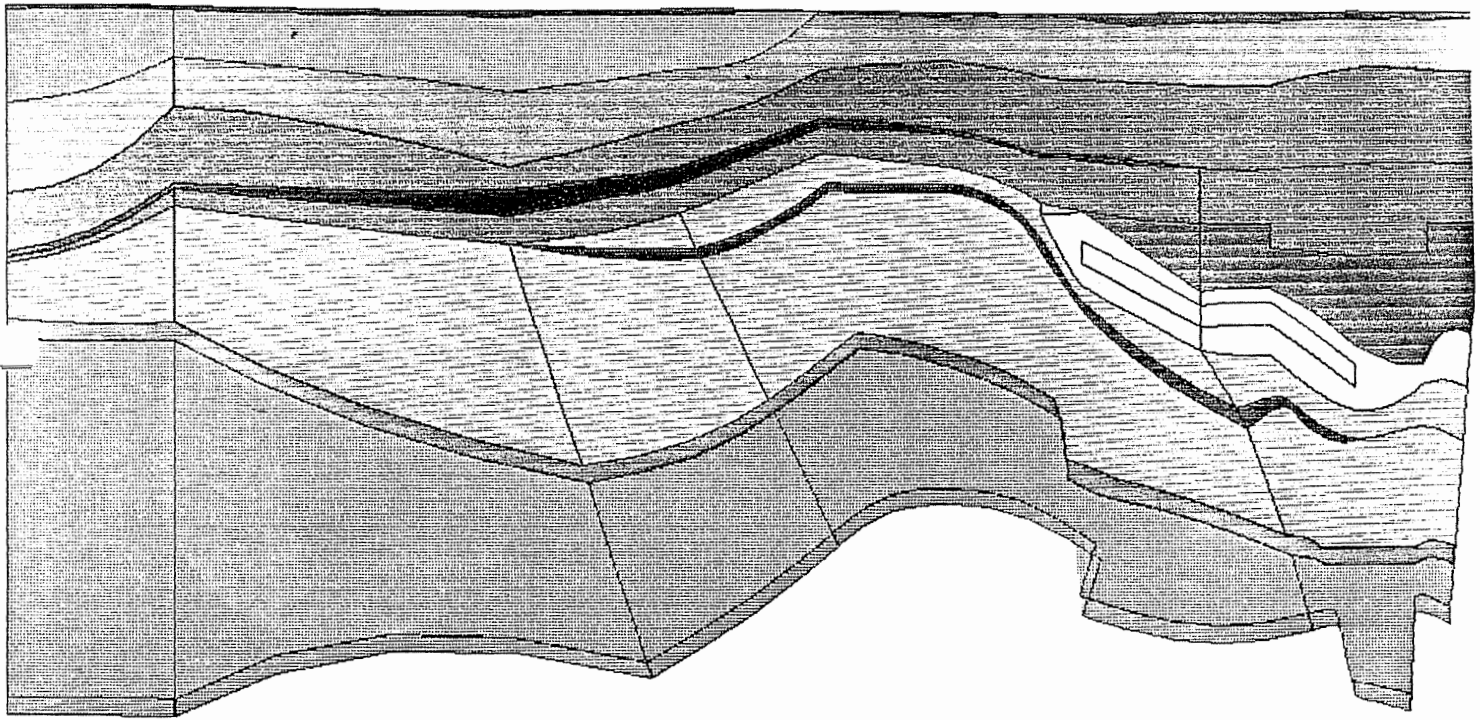
D T E KPD ALB HL KRU JO G OX GRUB O C-N C-S L KO K HO S



SCHNITT8.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 77/0

K-CLASSES

D T E KPD ALB HL KRU JO G OX GRUB O C-N C-S L KO K HO S

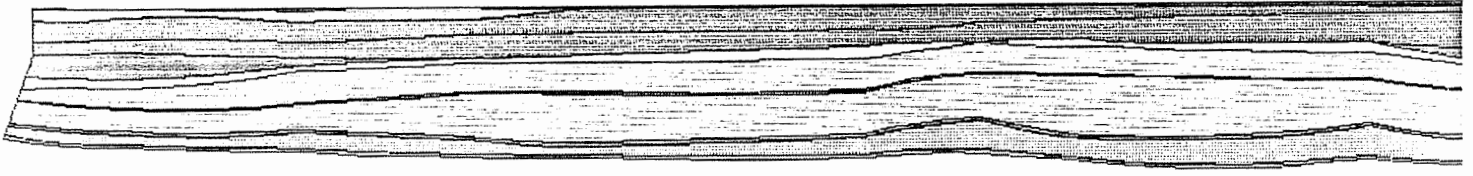


B8 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 8

SCHNITT9.EL PTB.XYZ 104/0

K-CLASSES

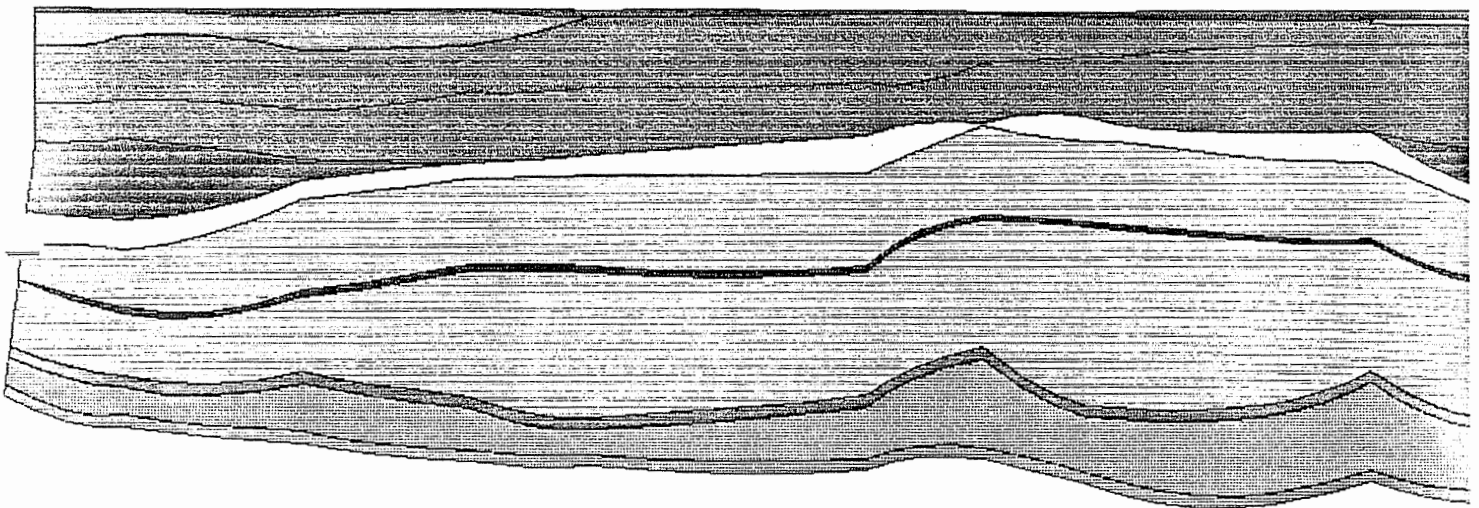
D T E KRD ALB HL KRU JO G DK GRUB D C-N C-S L KO K MO S



SCHNITT9.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 104/0

K-CLASSES

D T E KRD ALB HL KRU JO G DK GRUB D C-N C-S L KO K MO S

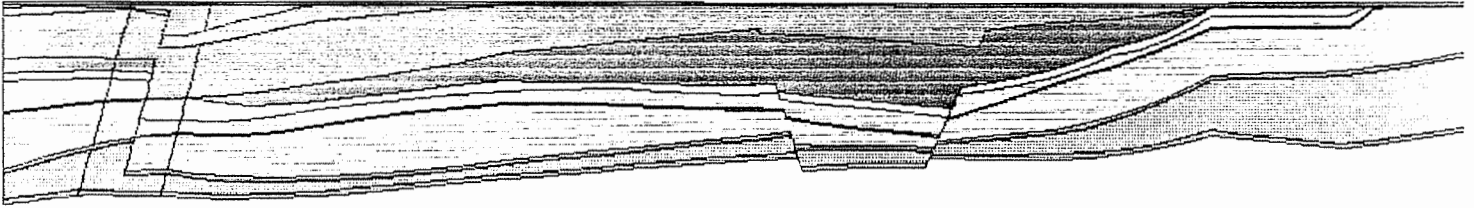


B9 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 9

SCHNITT10.EL PTB.XYZ 141/0

K-CLASSES

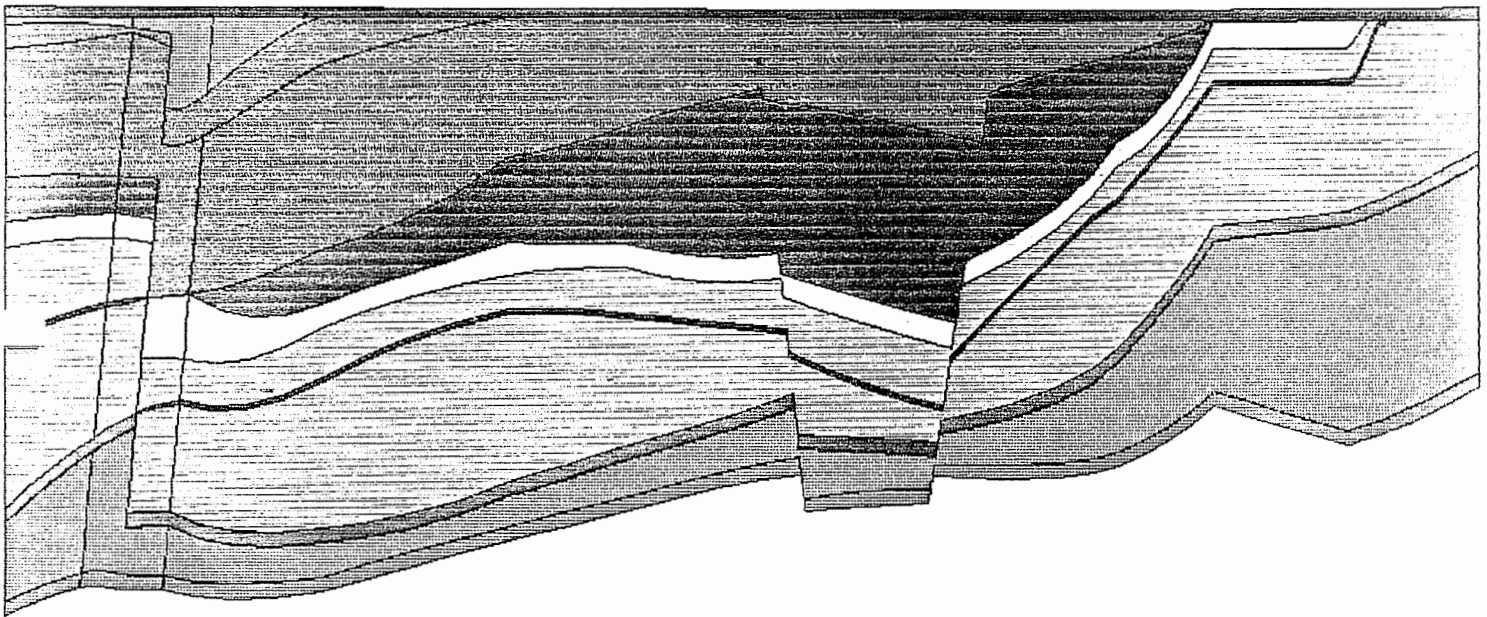
Q T E KPD ALB HL KRU JO G DX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



SCHNITT10.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 141/0

K-CLASSES

Q T E KPD ALB HL KRU JO G DX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



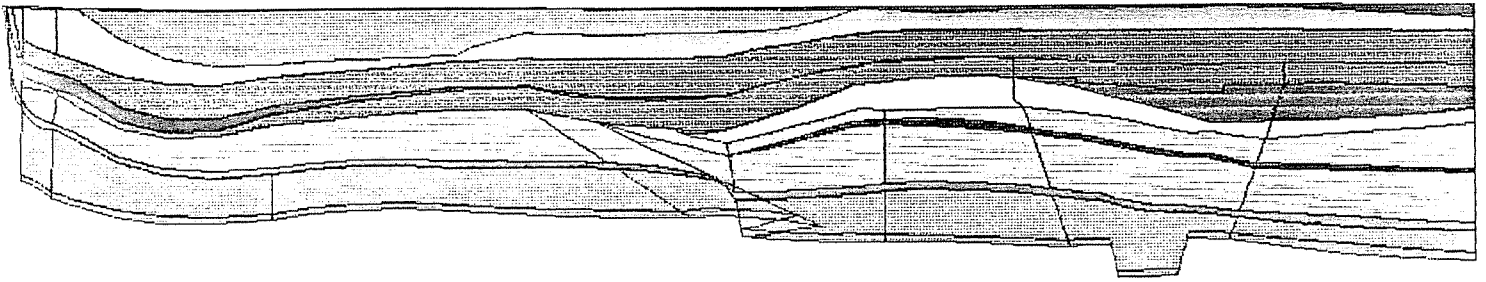
B10 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 10



SCHNITT12.EL PTB.XYZ 111/0

K-CLASSES

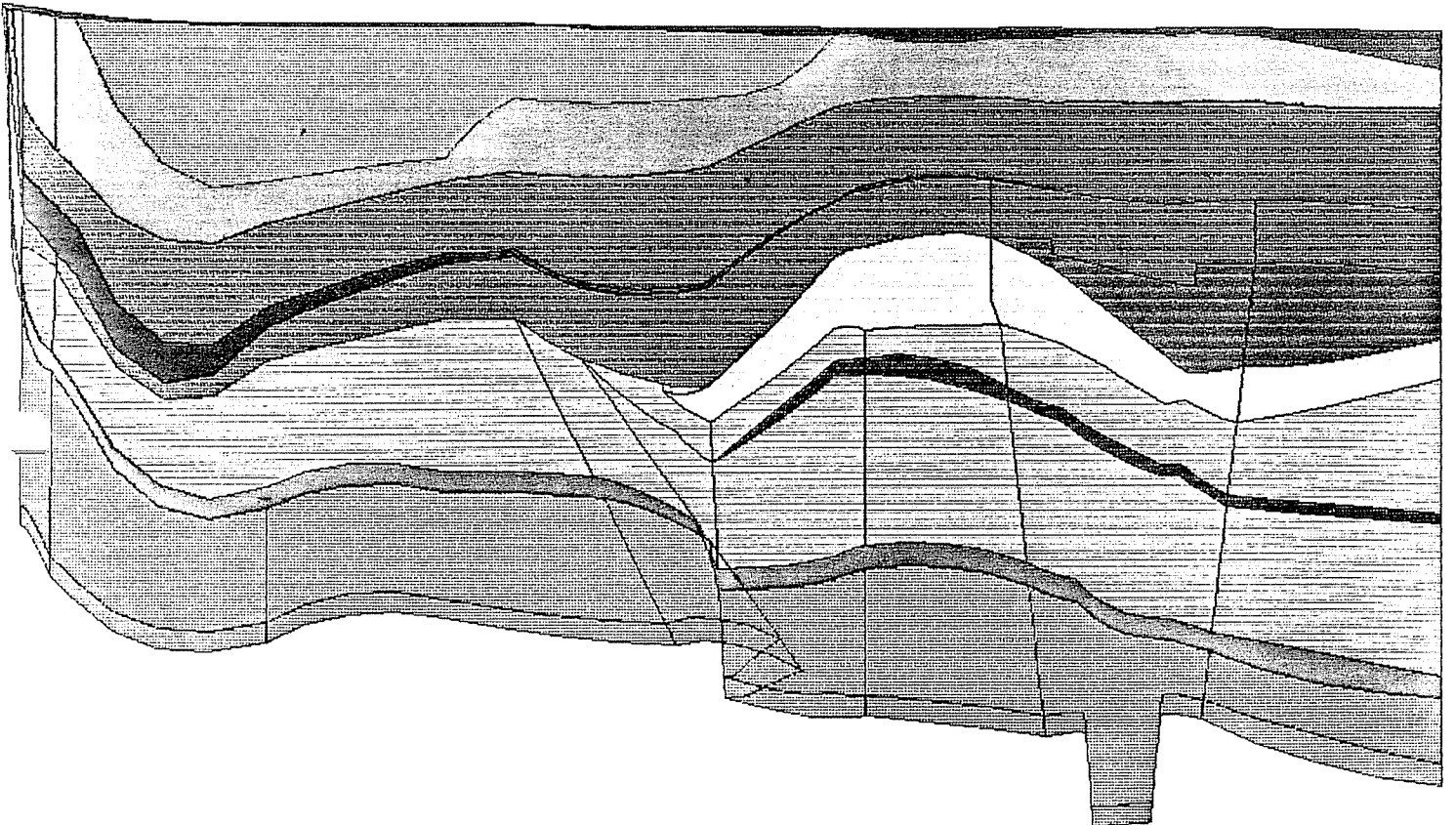
D T E KRD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



SCHNITT12.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 111/0

K-CLASSES

D T E KRD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



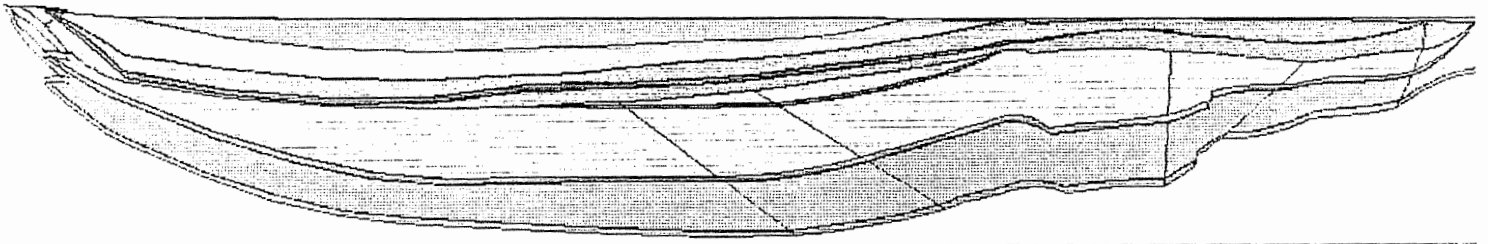
B11 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 12



SCHNITT 13, EL PTB, XYZ 125 0

K-CLASSES

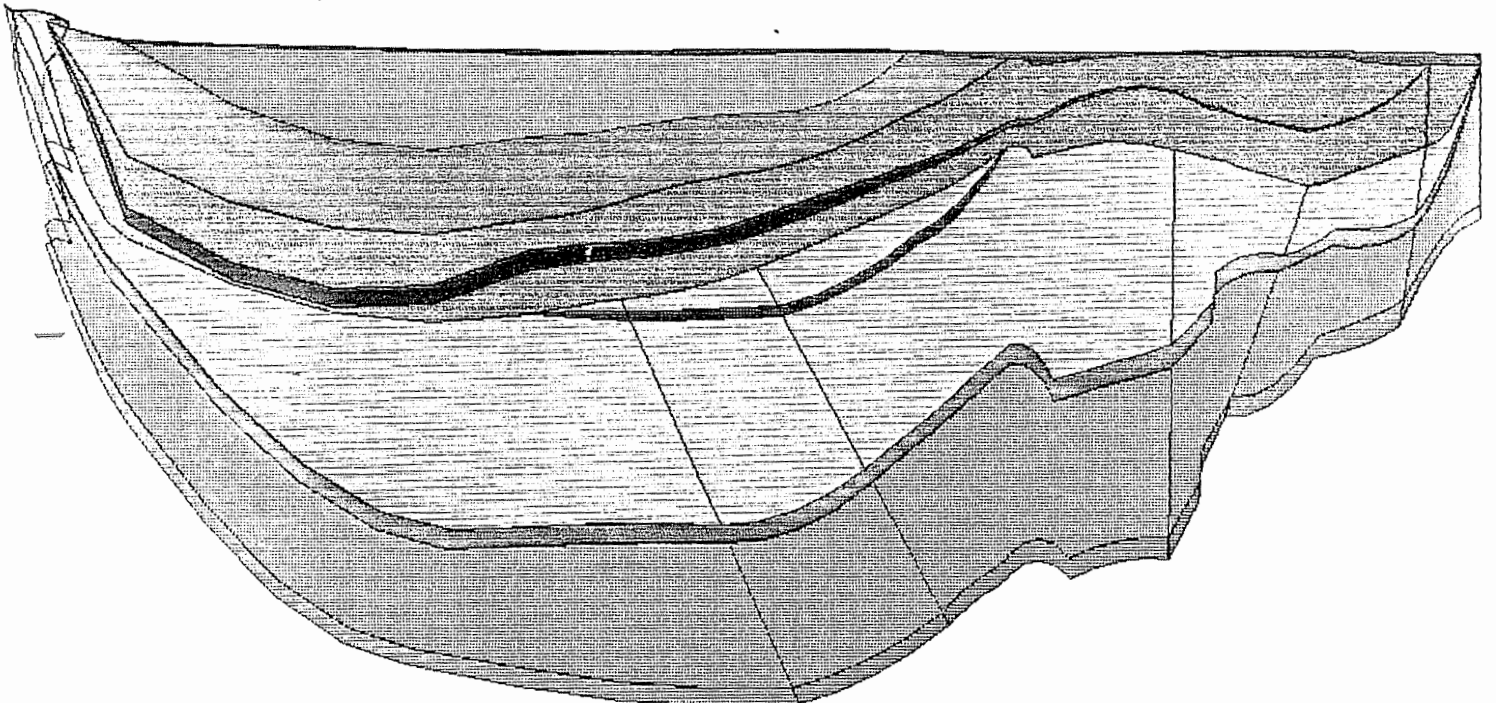
D T E KPD ALB HL KFU JO G DR GRUE O C-N C-S L KO K HO S



SCHNITT 13, EL PTB, XYZ (Z\*3,0) 125 0

K-CLASSES

D T E KPD ALB HL KFU JO G DR GRUE O C-N C-S L KO K HO S

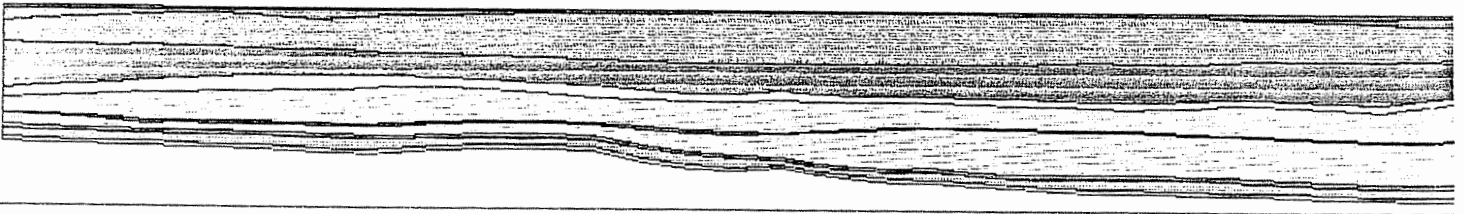


B12 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 13

SCHNITT14.EL PTB.XYZ 102/0

F-CLASSES

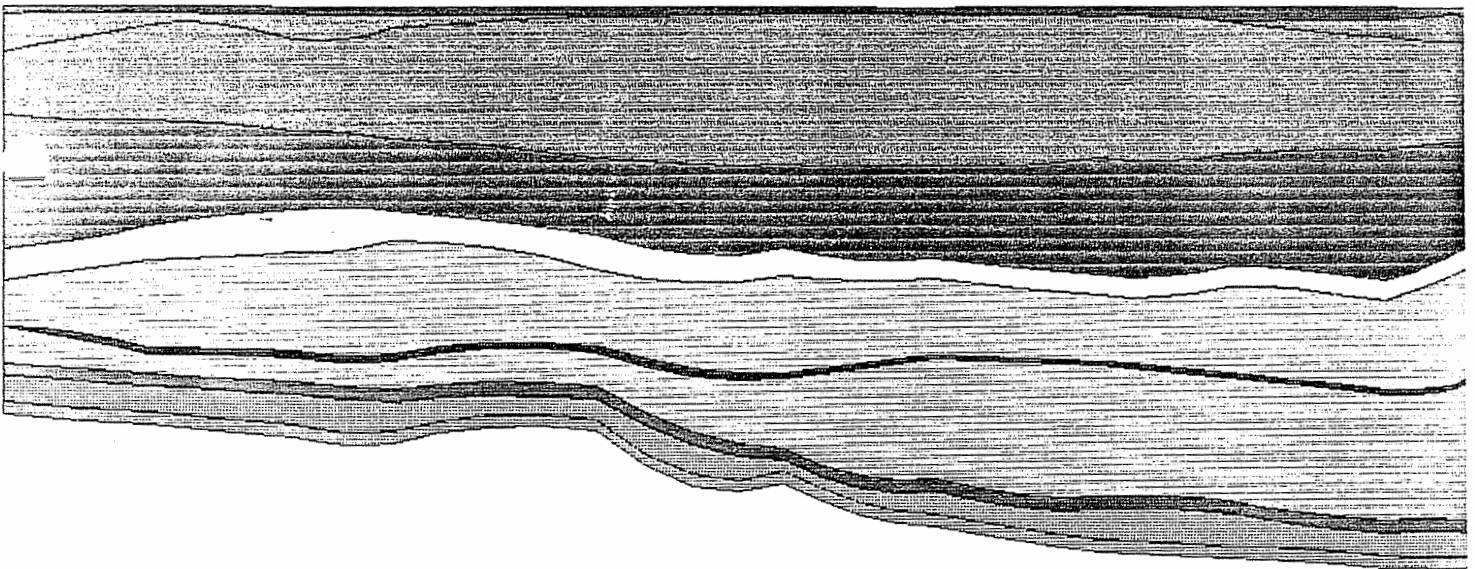
D T E KPD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



SCHNITT14.EL PTB.XYZ(Z\*3.0) 102/0

K-CLASSES

D T E KPD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S

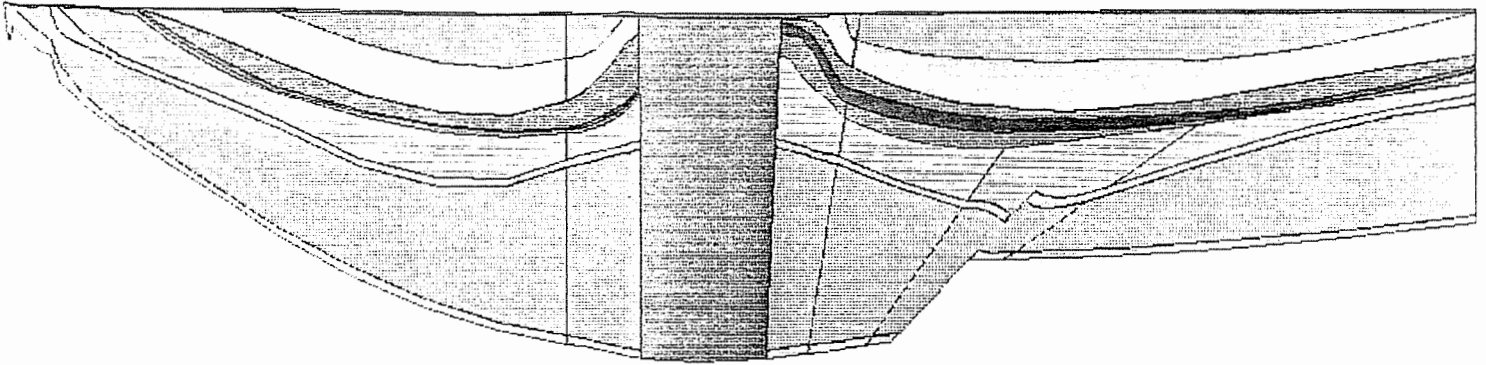


B13 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 14

PTB. 72 130 0

K-KLASSES

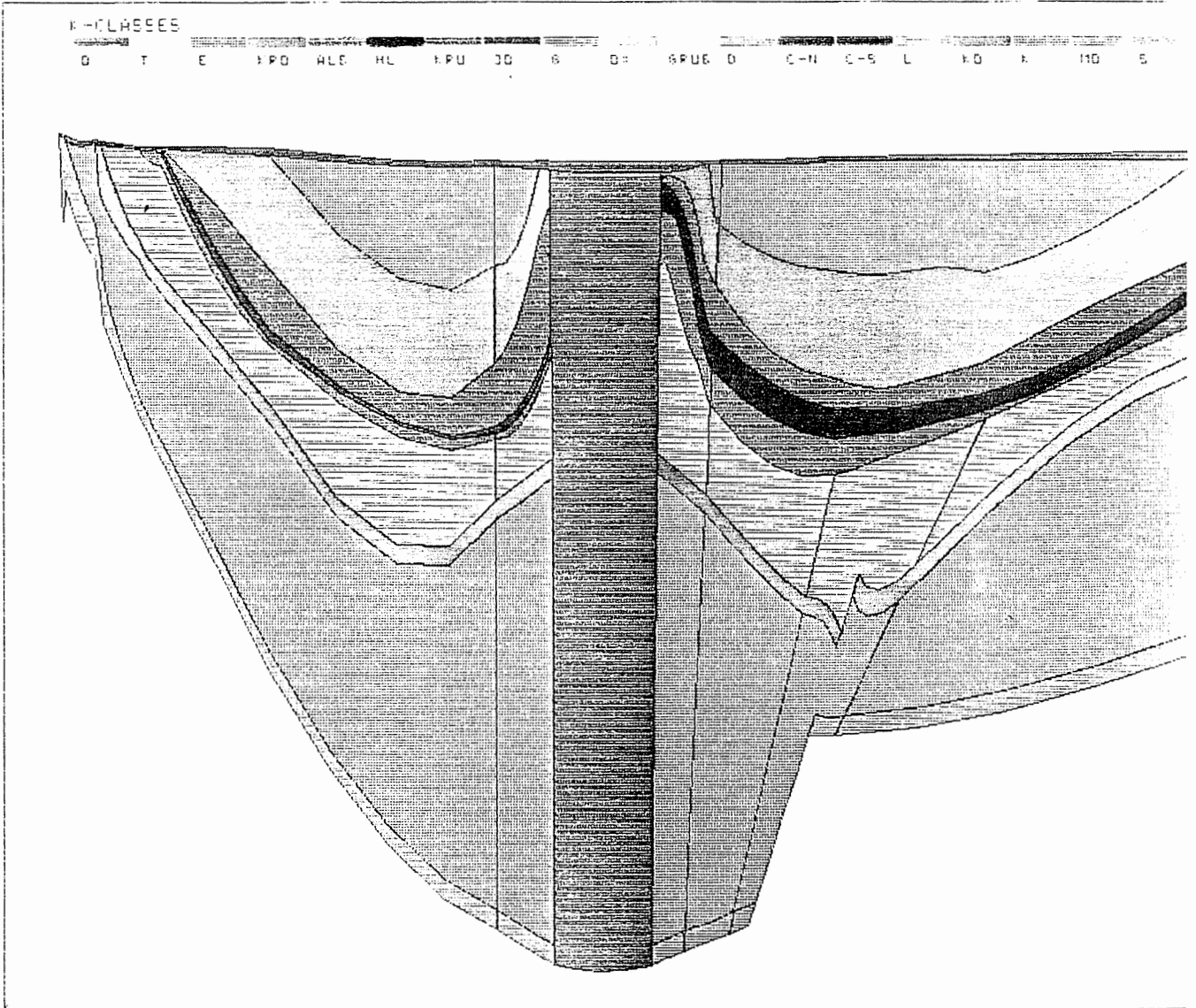
D T E 1 PD 2 LE HL 1 PU 30 6 0 1 PUE 0 C-N C-S L 10 1 110 5



PTB. 72 130 0

K-KLASSES

D T E 1 PD 2 LE HL 1 PU 30 6 0 1 PUE 0 C-N C-S L 10 1 110 5



B14 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 15

PTB.XYZ 90/0

K-CLASSES

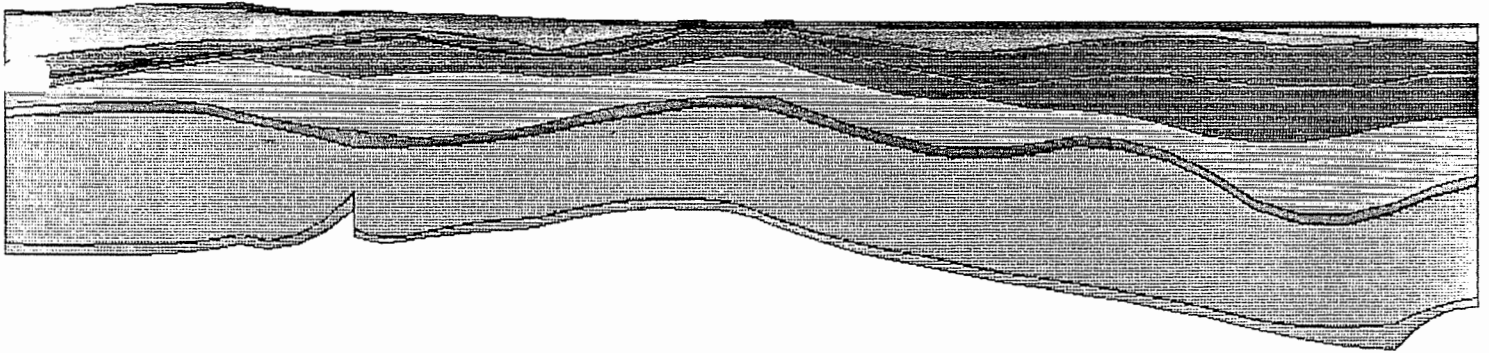
Q T E KRD ALB HL KRU JD G DX GRUB D C-N C-S L KD K MO S



PTB.XYZ(Z\*3.0) 90/0

K-CLASSES

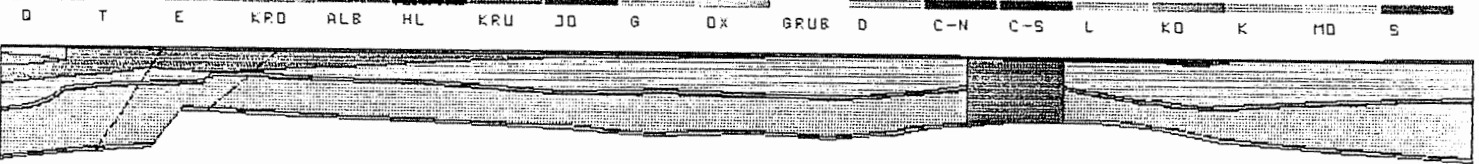
Q T E KRD ALB HL KRU JD G DX GRUB D C-N C-S L KD K MO S



B15 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 16

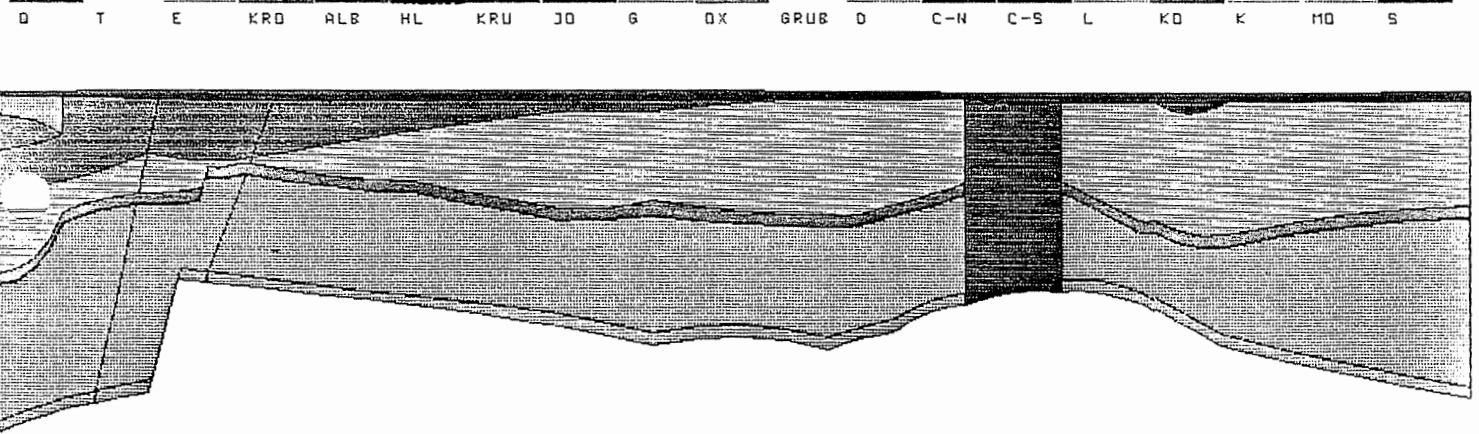
PTB.XYZ 122/0

K-CLASSES



PTB.XYZ(Z\*3.0) 122/0

K-CLASSES



B16 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 17



SCHNITT18.EL PTB.XYZ 186/0

K-CLASSES

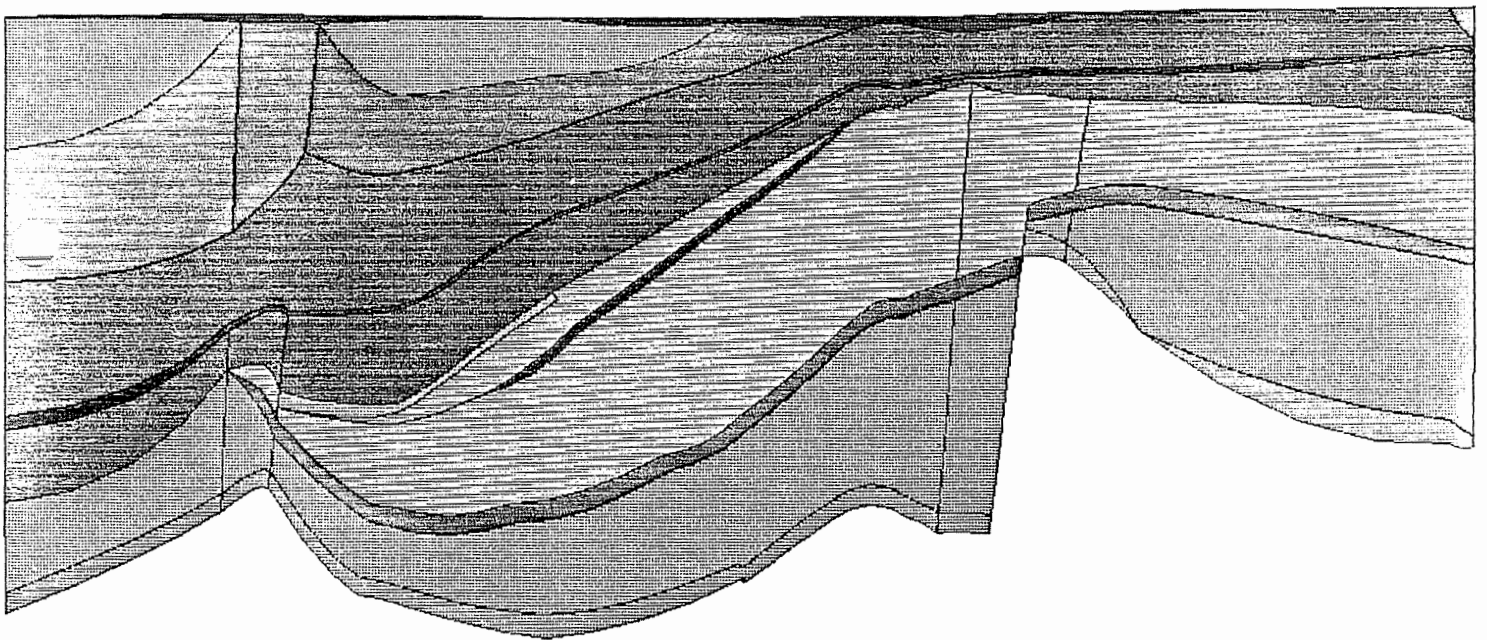
D T E KRD ALB HL KRU JO G DX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



SCHNITT18.EL PTB.XYZ(Z\*3) 186/0

K-CLASSES

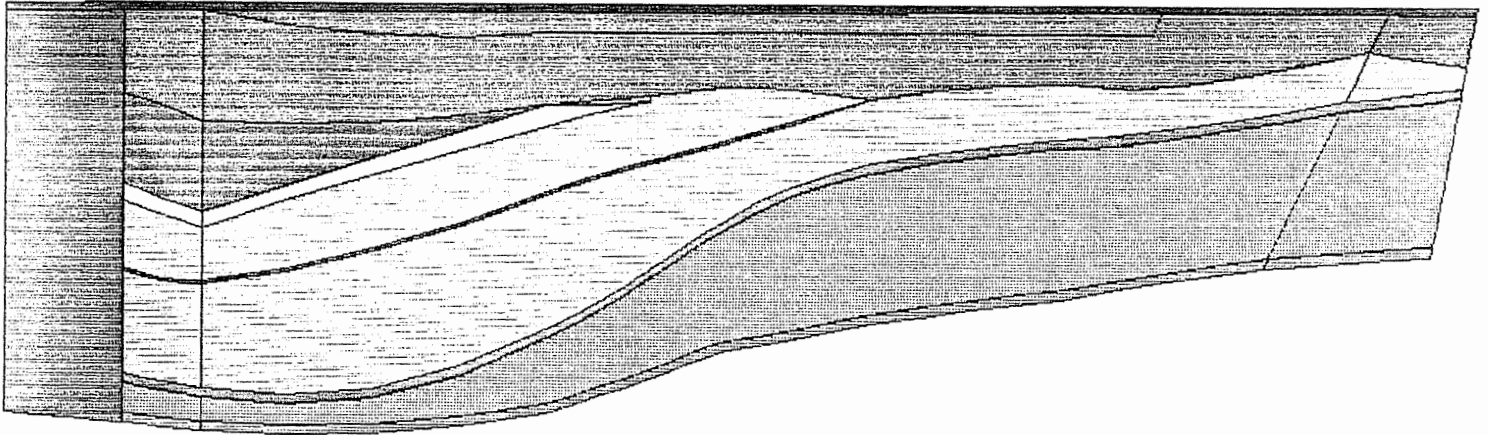
D T E KRD ALB HL KRU JO G DX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



B17 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 18

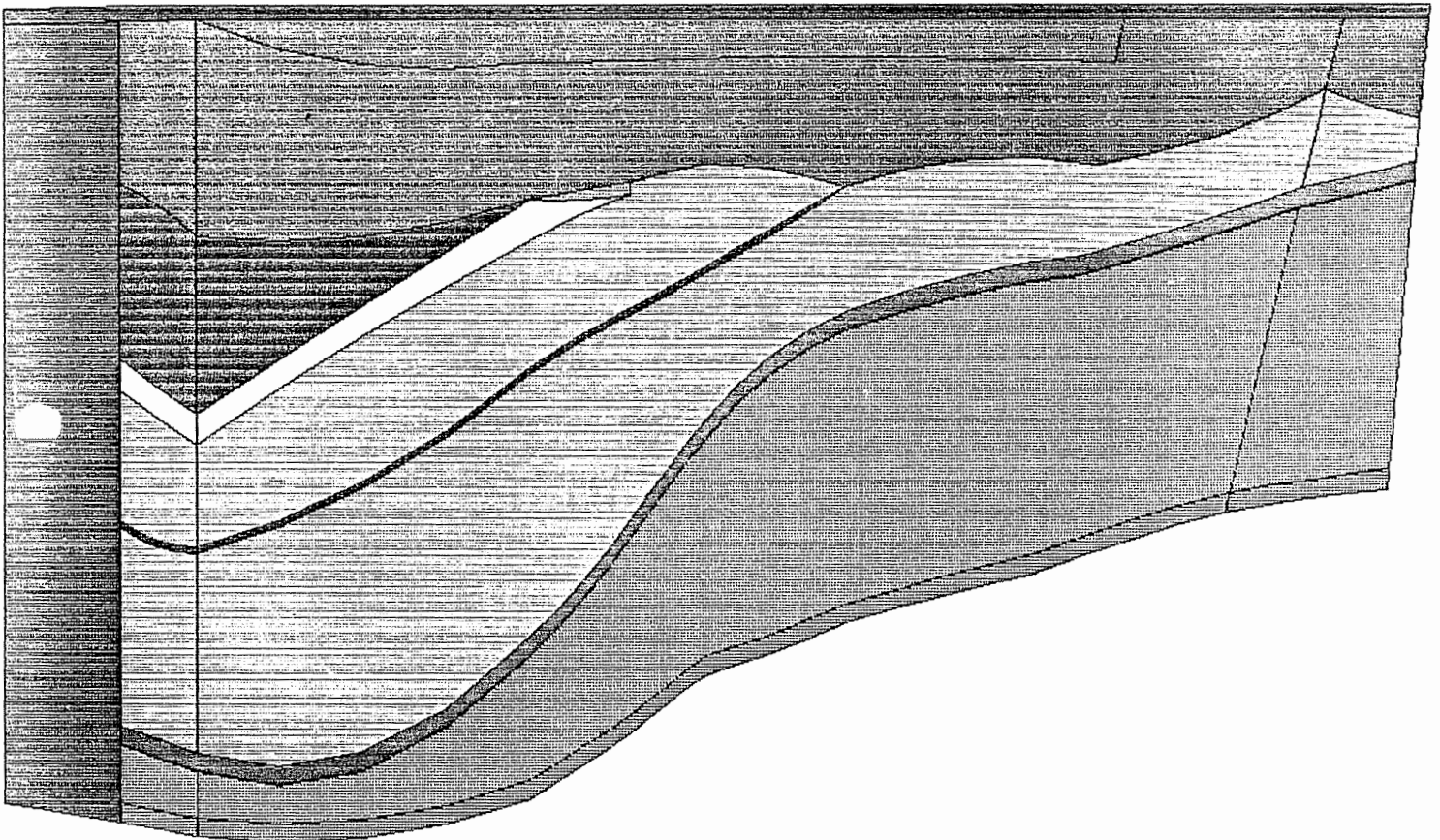
K-CLASSES

D T E KPD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



K-CLASSES

D T E KPD ALB HL KRU JO G OX GRUB D C-N C-S L KO K MO S



B18 Modellschnitte mit hydrogeologischen Schichteinheiten und Störzonen:  
Schnitt 19

**MOTOR COLUMBUS INGENIEURUNTERNEHMUNG AG  
BADEN/SCHWEIZ**

KONRAD  
EU  
210

## **SCHACHTANLAGE KONRAD, SALZGITTER**

**Modellrechnungen mit dem Programm FEM301  
für ein alternatives  
geologisches/hydrogeologisches Modell**

**Auftrags-Nr. 9K 352126.39**

## **SCHLUSSBERICHT Band IV: Anhang C**

**15. November 1988**

Der Bericht wurde im Auftrag der PHYSIKALISCH TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.



# INHALTSVERZEICHNIS

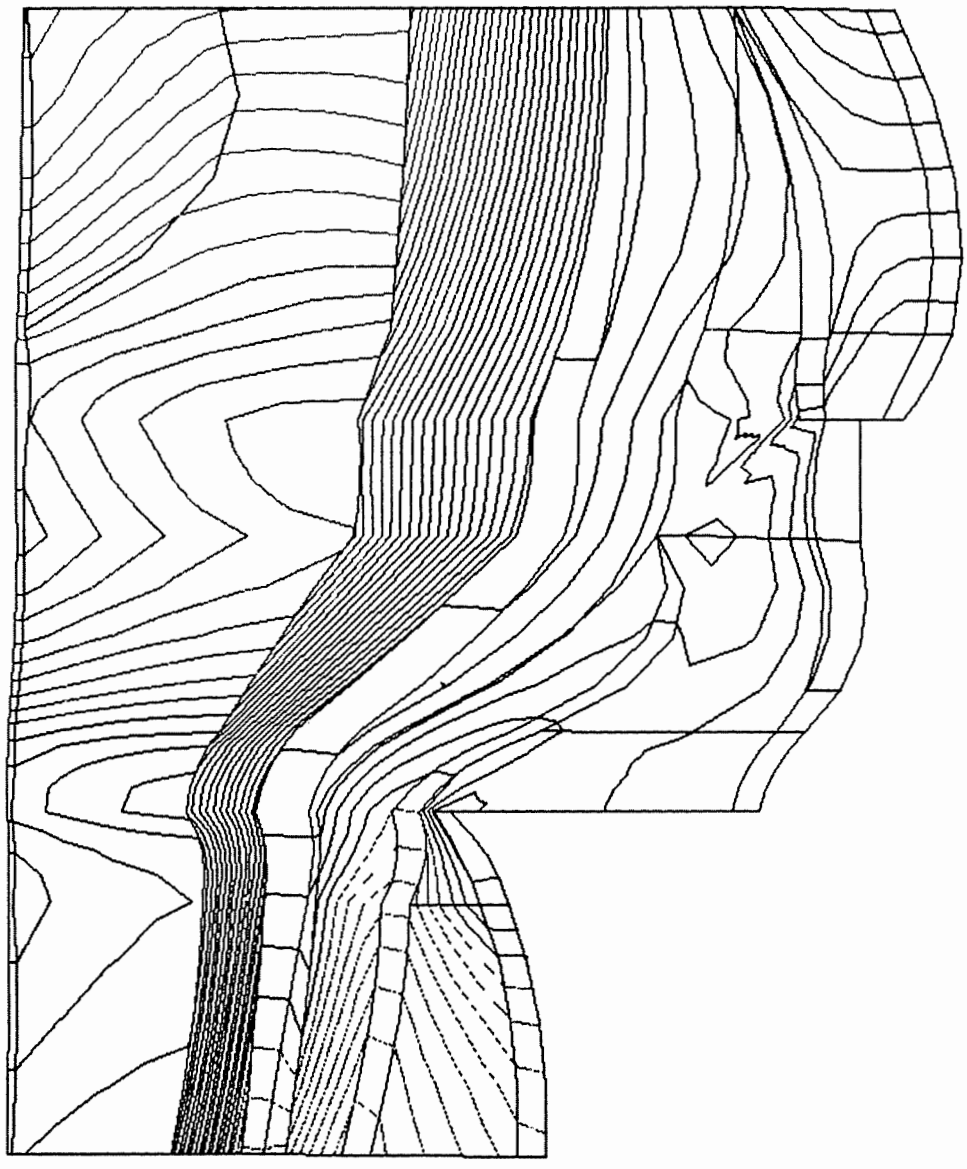
## ANHANG C

- 1            **Rechenfall R01**
- 1.1        Potentiale, Schnitte
- 1.1.1      Schnitt 1
- 1.1.2      Schnitt 2
- 1.1.3      Schnitt 3
- 1.1.4      Schnitt 4
- 1.1.5      Schnitt 5
- 1.1.6      Schnitt 6
- 1.1.7      Schnitt 7
- 1.1.8      Schnitt 8-9
- 1.1.9      Schnitt 10
- 1.1.10     Schnitt 12
- 1.1.11     Schnitt 13
- 1.1.12     Schnitt 14
- 1.2        Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 1.2.1      Basis Oberer Muschelkalk
- 1.2.2      Basis Rhät
- 1.2.3      Basis Cornbrash-Sandstein
- 1.2.4      Basis Oxford
- 1.2.5      Basis Unterkreide
- 1.2.6      Basis Hilssandstein
- 1.3        Fliesswege
- 1.3.1      Grundriss
- 1.3.2      Aufriss
- 1.3.3      Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen  
            Massstab)
- 1.4        Flüsse durch die Quartärbasis
- 1.4.1      Südabschnitt; alle Schichteinheiten
- 1.4.2      Salzgitter Höhenzug; Oberer Muschelkalk, Rhät, Hils-  
            sandstein und Plänerkalke
- 1.5        Flüsse durch die Wasserleiter von Schnitten
- 1.5.1      Schnitt 1
- 1.6        Vektoren der Filtergeschwindigkeit
- 1.6.1      Schnitt 8-9-10
- 1.6.2      Oberfläche des Cornbrash-Sandsteins
- 1.6.3      Oberfläche des Oxford
- 1.6.4      Oberfläche des Kimmeridge

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT1.EL PTB\_R01.RES 54/0

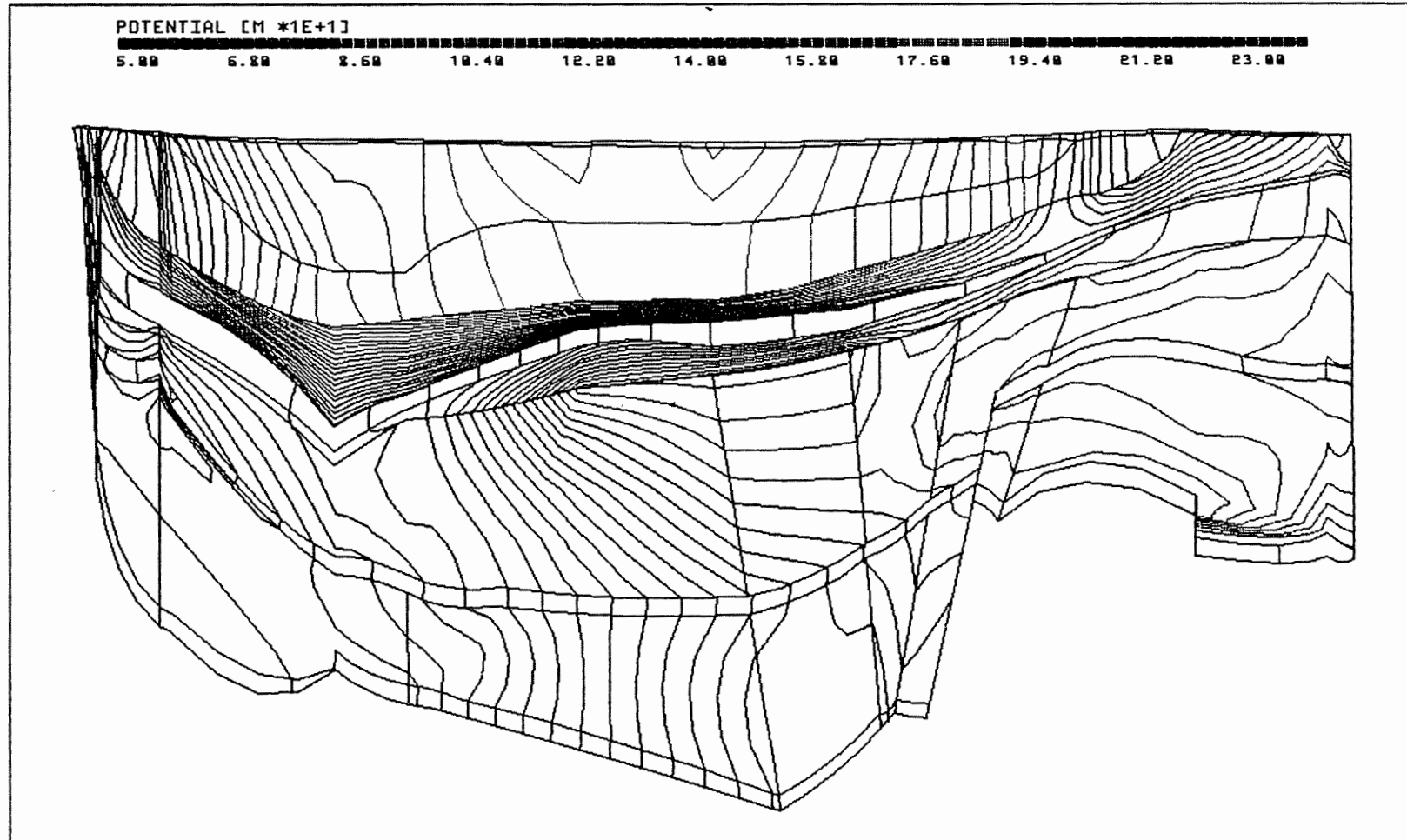
POTENTIAL (M \*1E+13)

5.00 6.80 8.60 10.40 12.20 14.00 15.80 17.60 19.40 21.20 23.00



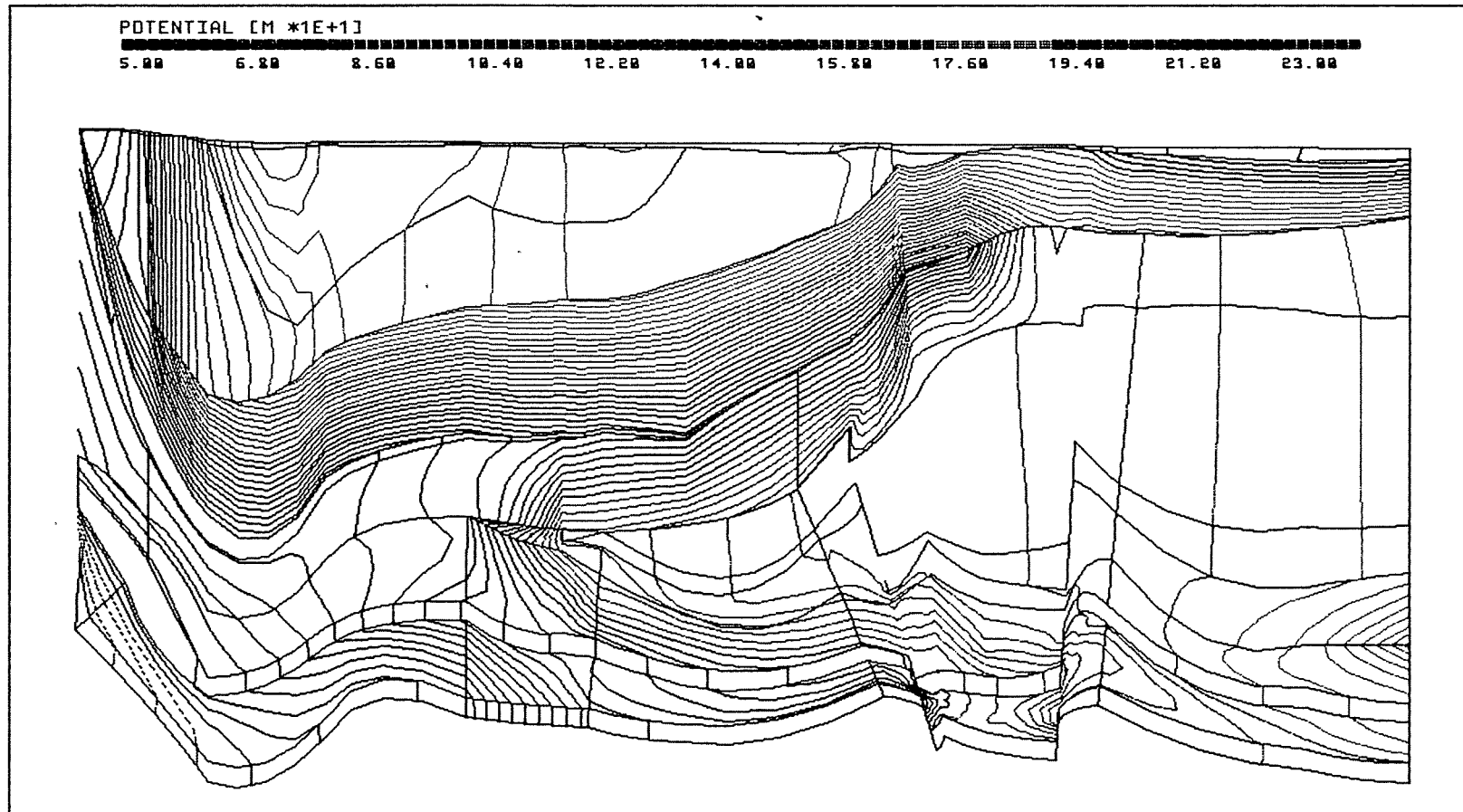
Anh. C1.1.1 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 1

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT2.EL PTB\_R01.RES 163/0



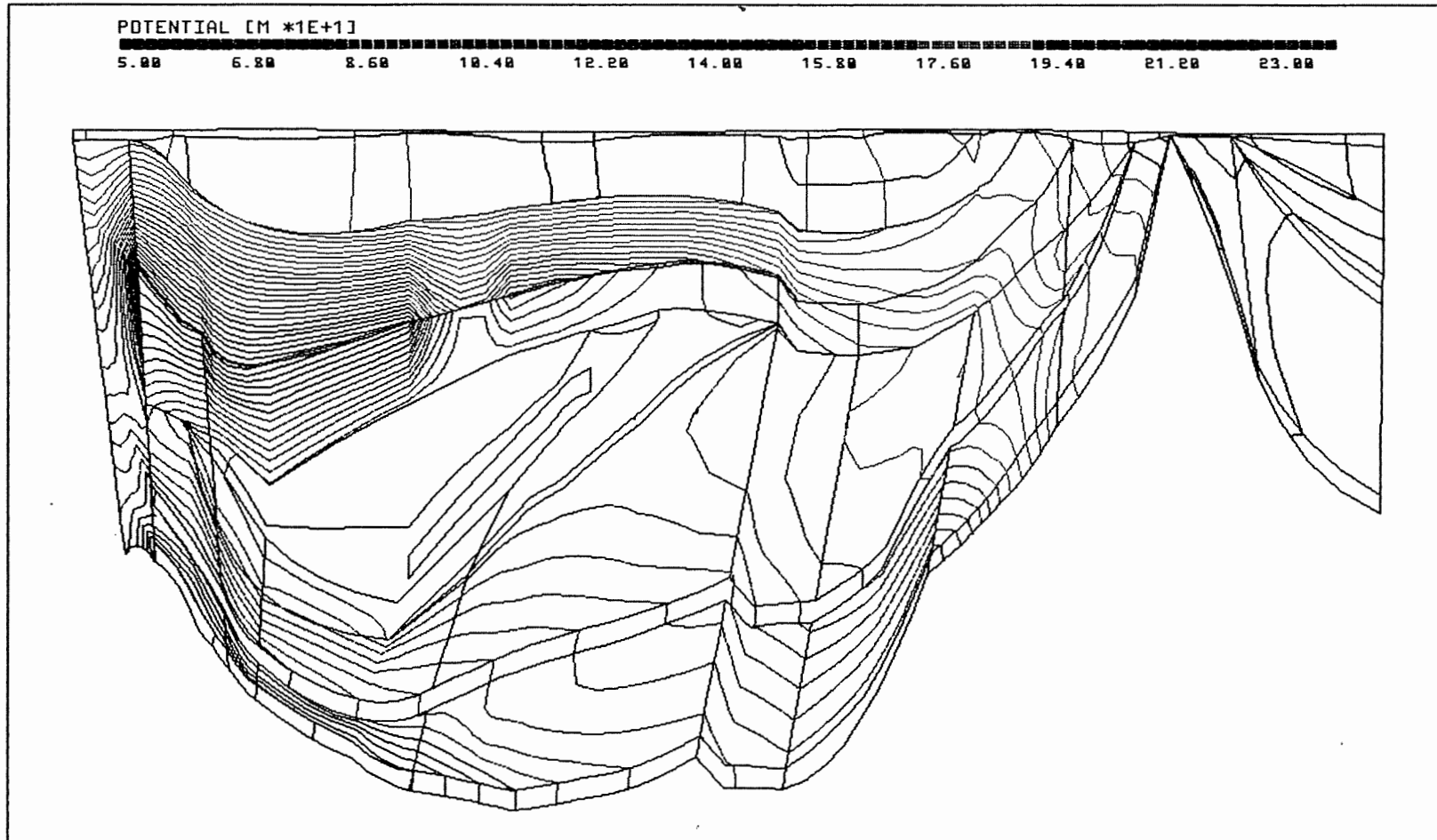
Anh. C.1.1.2 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 2

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT3.EL PTB\_R01.RES 108/0



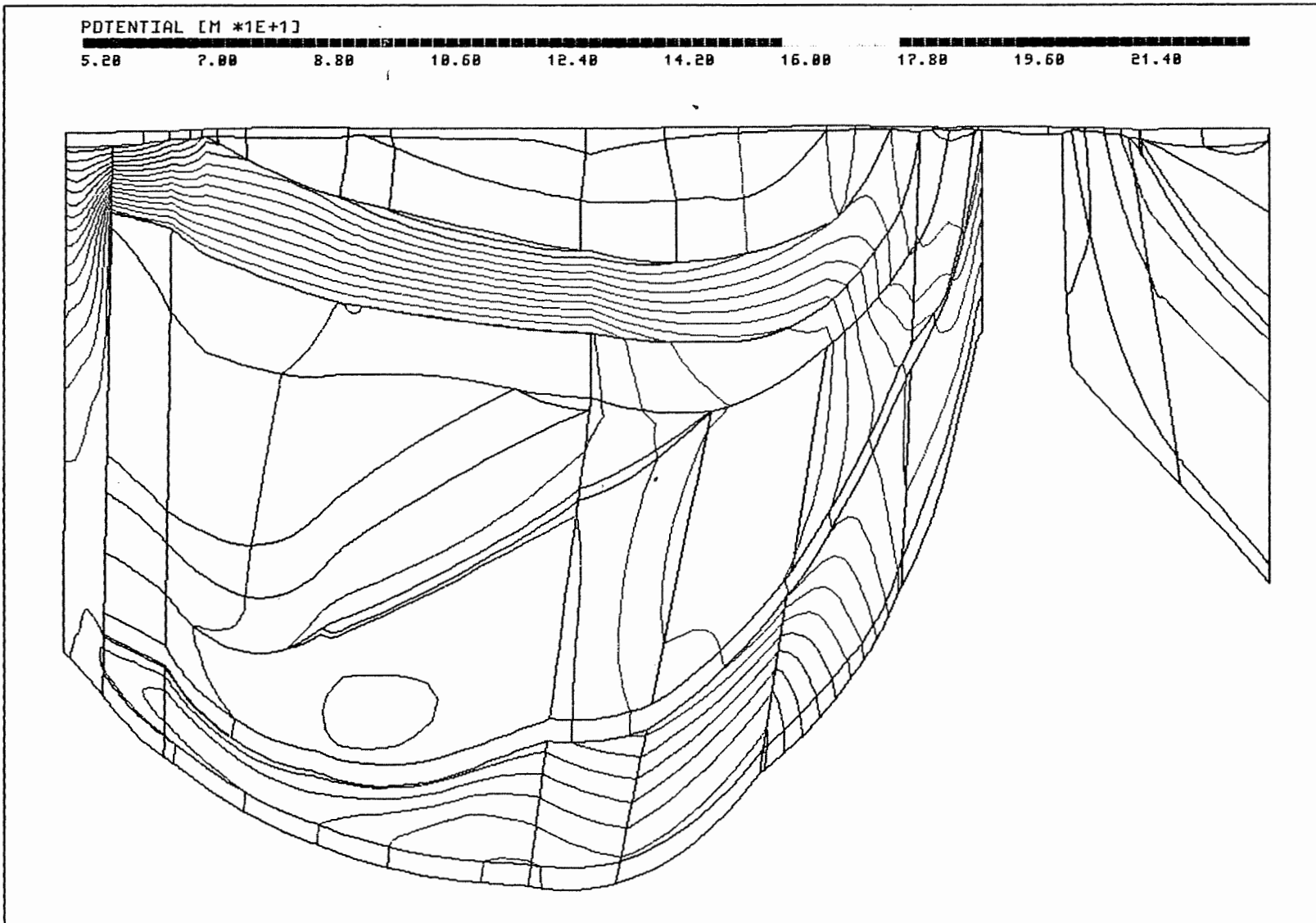
Anh. C.1.1.3 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 3

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL PTB\_R01.RES 177/0



Anh. C1.1.4 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 4

PTB.XYZ(Z\*3.0) SCHNITT5.EL PTB\_R01.RES 186/0

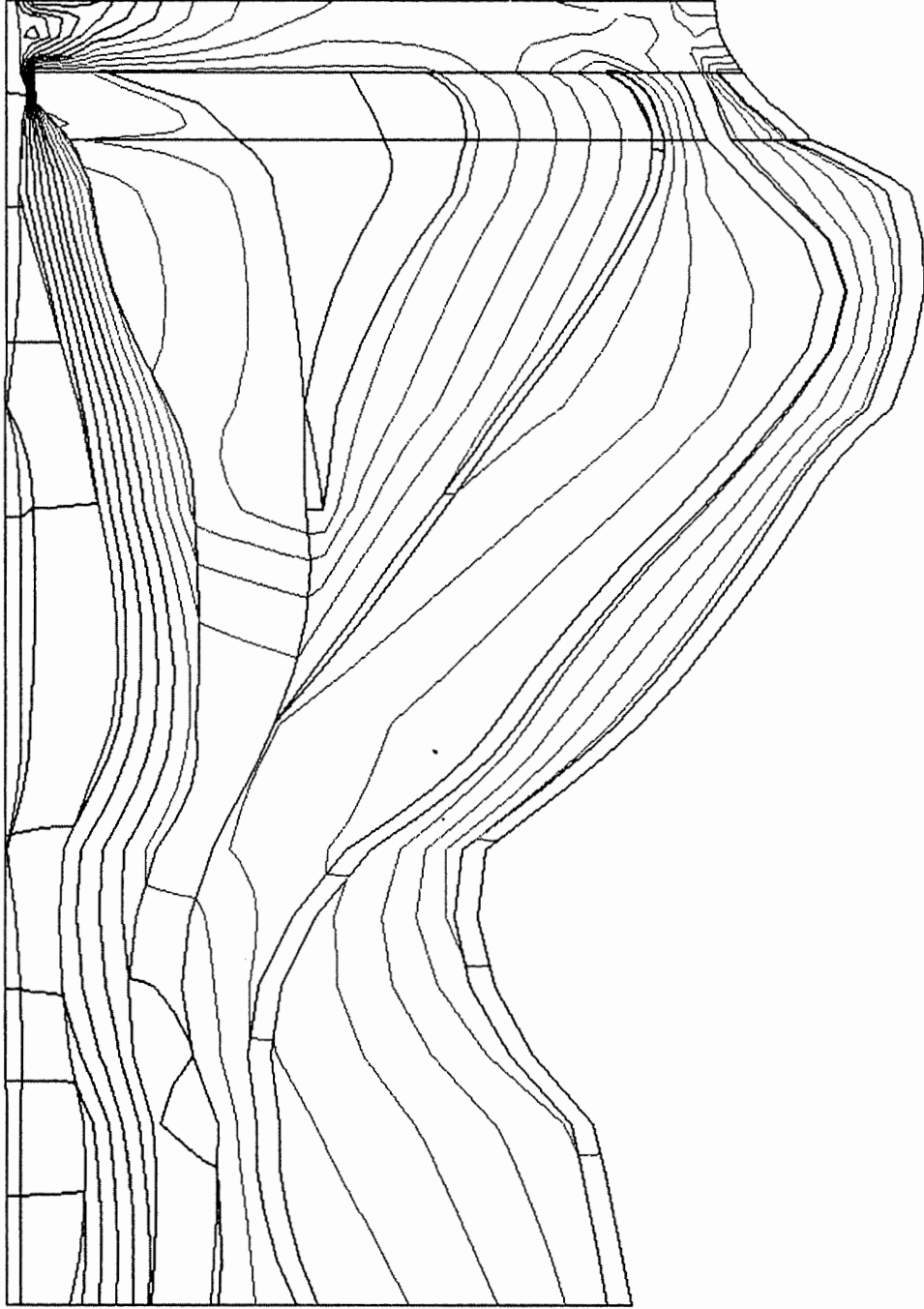


Anh. C1.1.5 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 5

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT6.EL PTB\_R01.RES 20/0

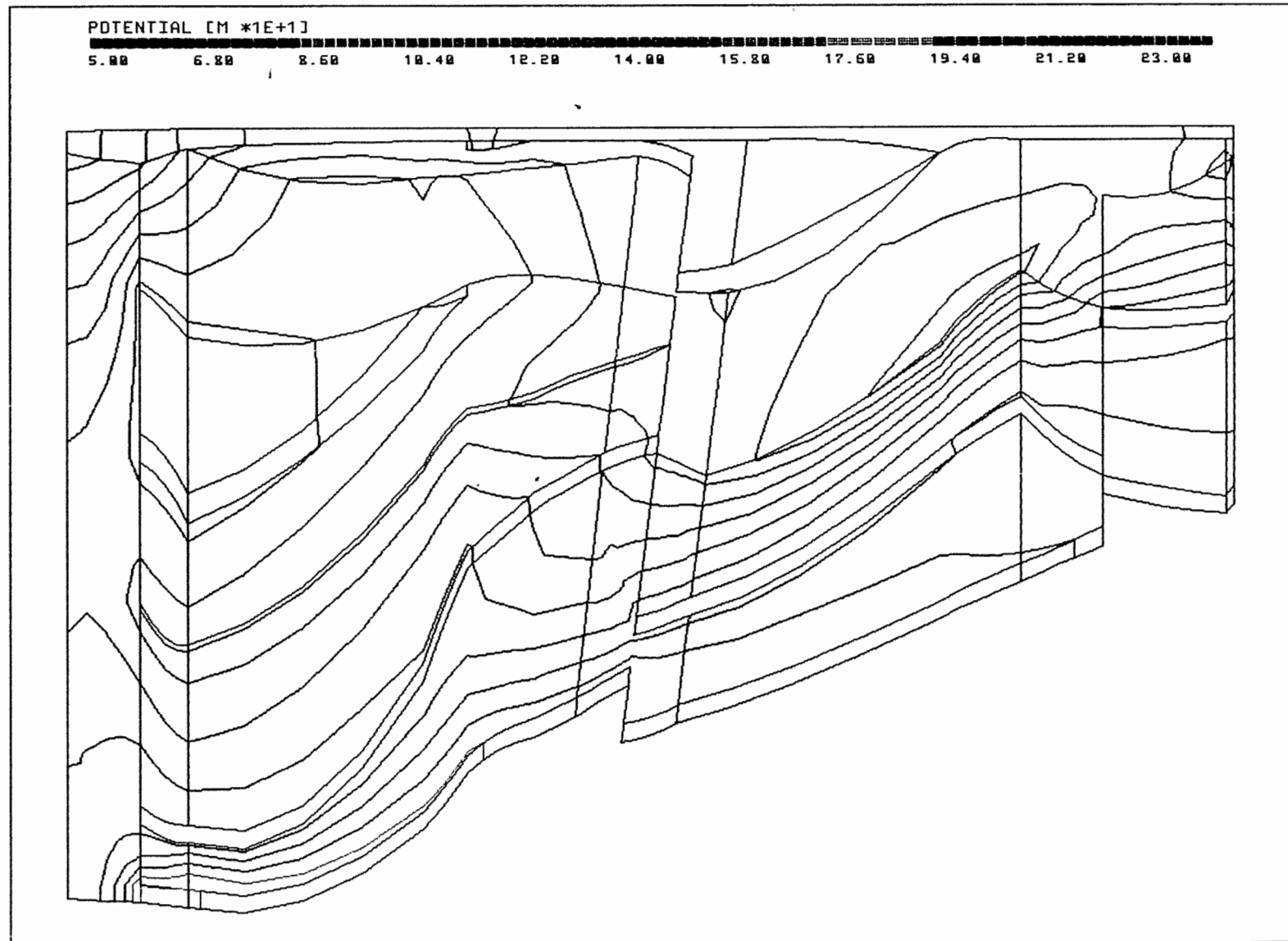
POTENTIAL [M \*1E+1]

5.00 6.80 8.60 10.40 12.20 14.00 15.80 17.60 19.40 21.20 23.00



Anh. C1.1.6 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 6

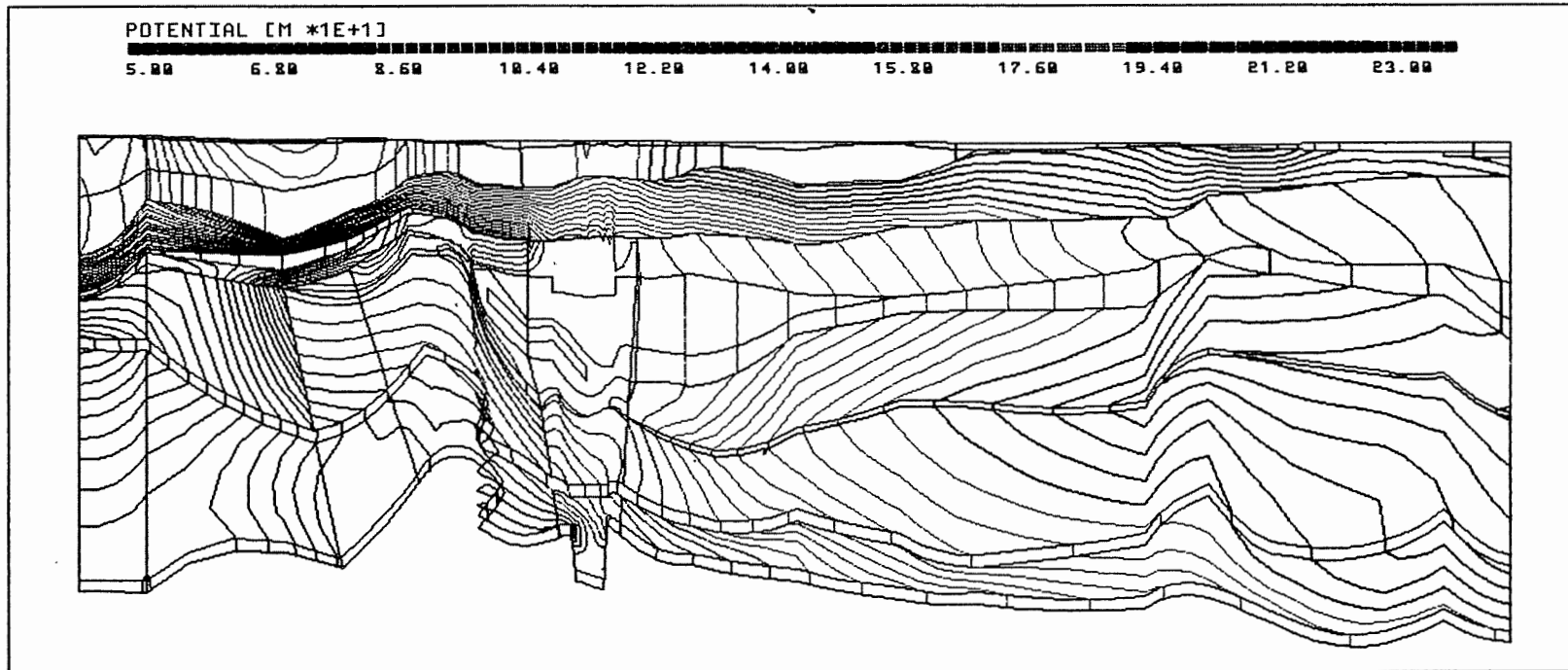
PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT7.EL PTB\_R01.RES 174/0



Anh. C1.1.7 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 7

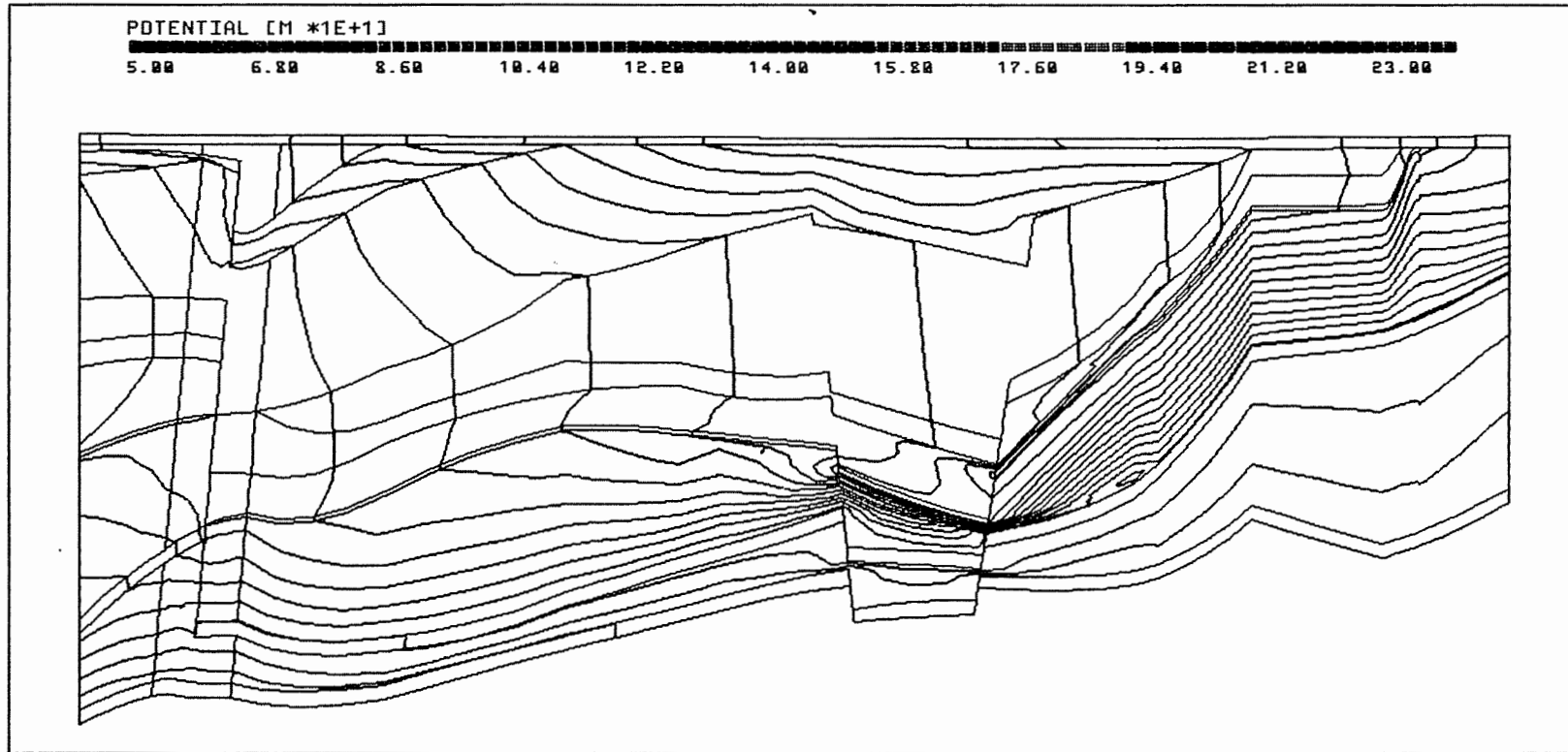


PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL PTB\_R01.RES 96/0



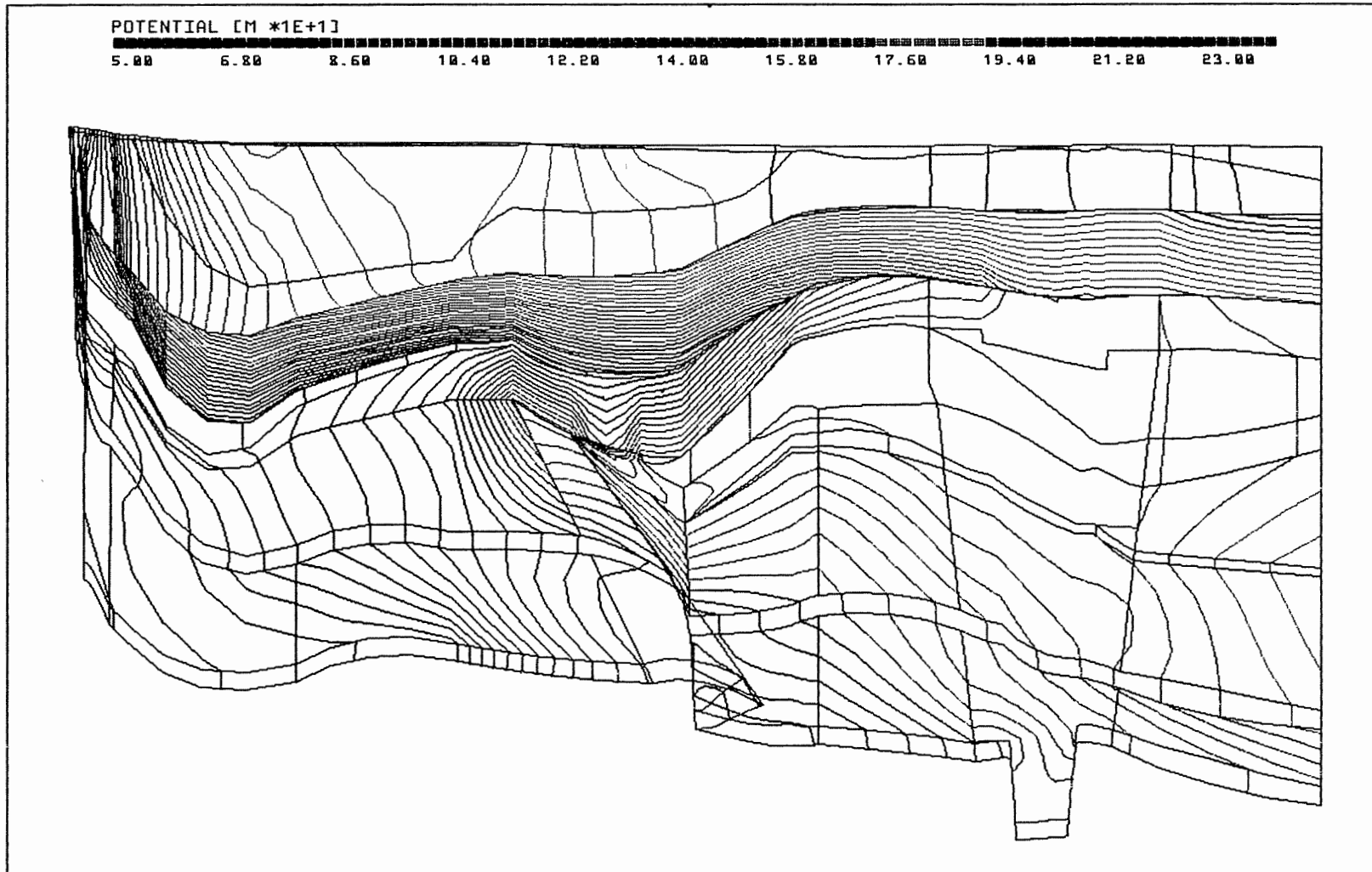
Anh. C1.1.8 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 8-9

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT10.EL PTB\_R01.RES 141/0



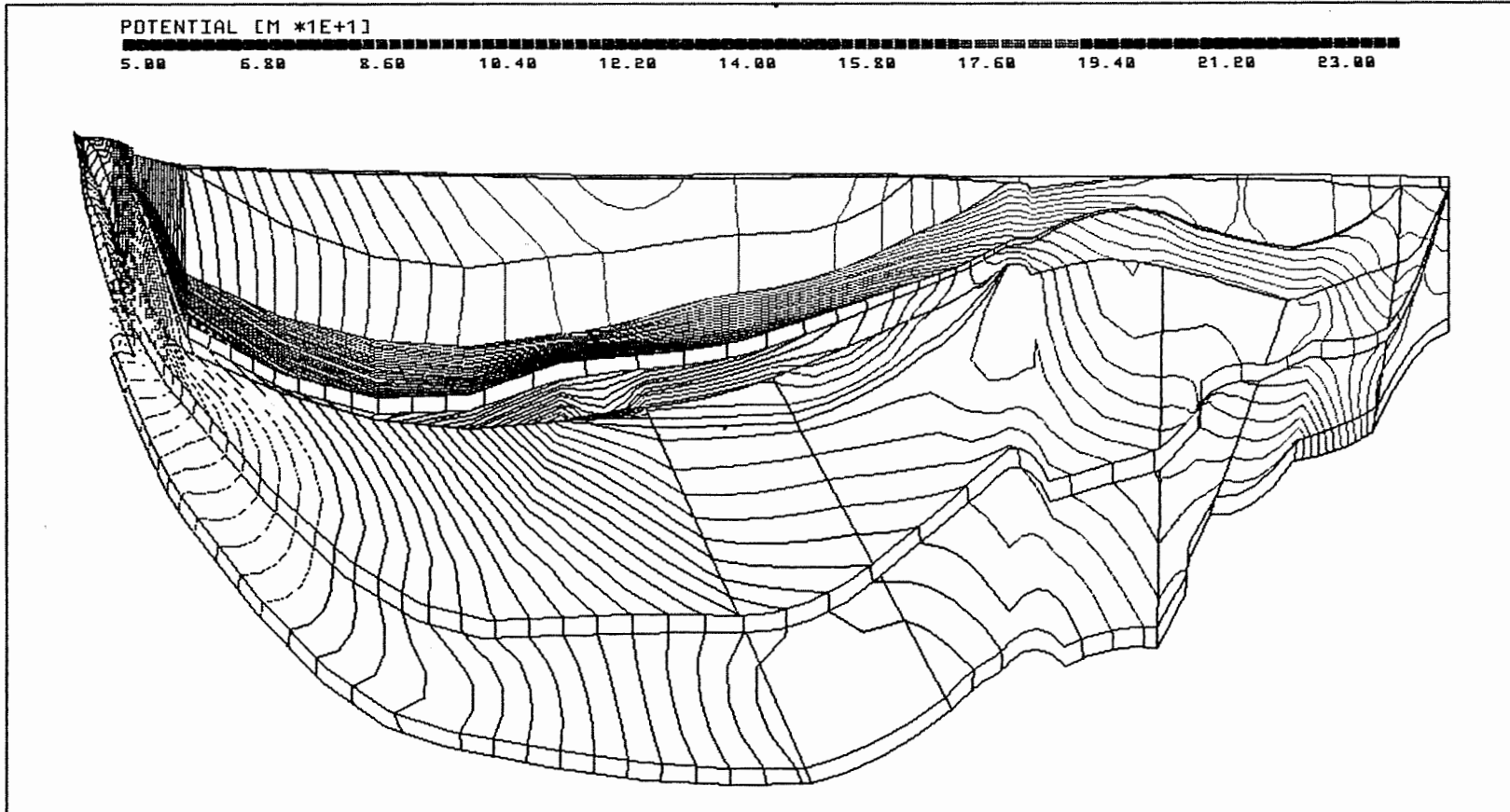
Anh. C1.1.9 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 10

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT12.EL PTB\_R01.RES 111/0



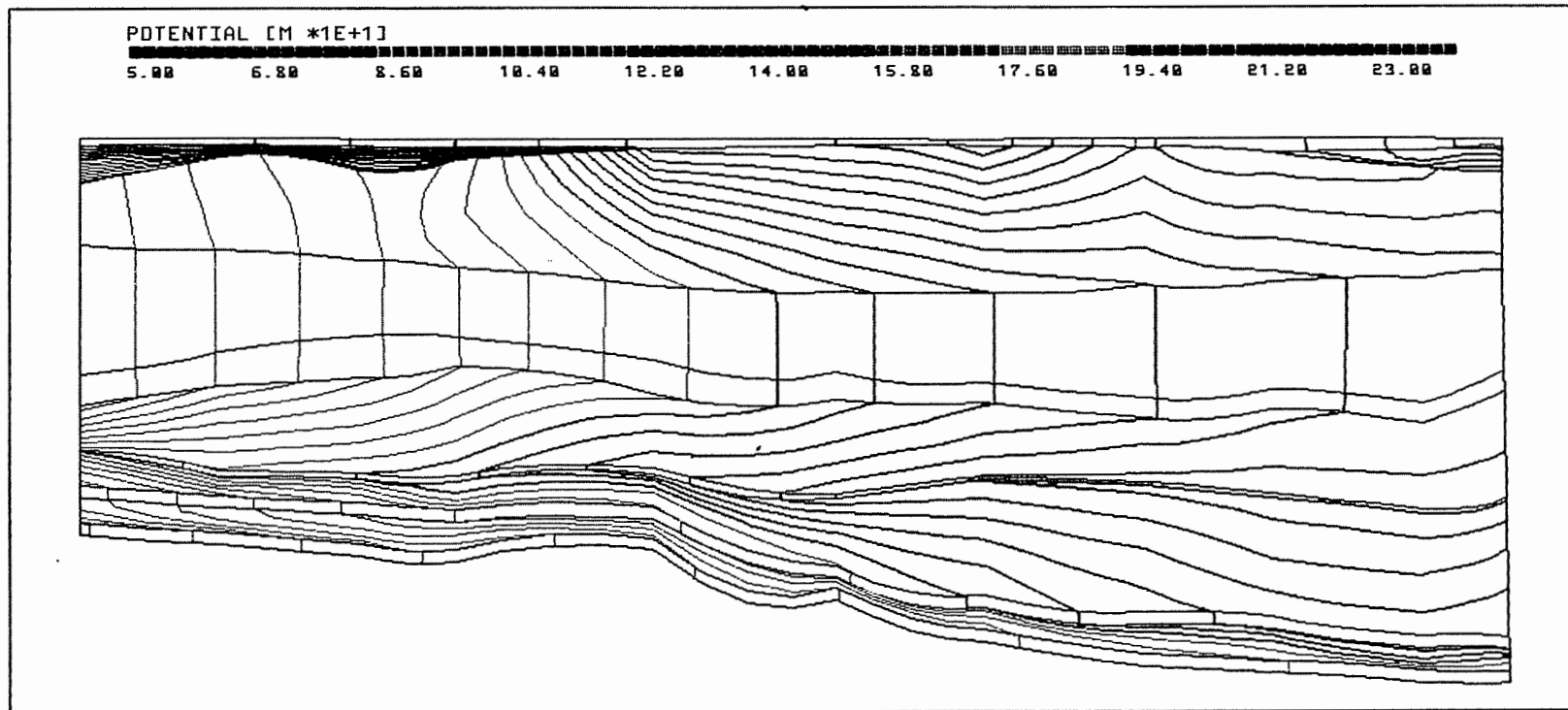
Anh. C1.1.10 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 12

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT13.EL PTB\_R01.RES 125/0



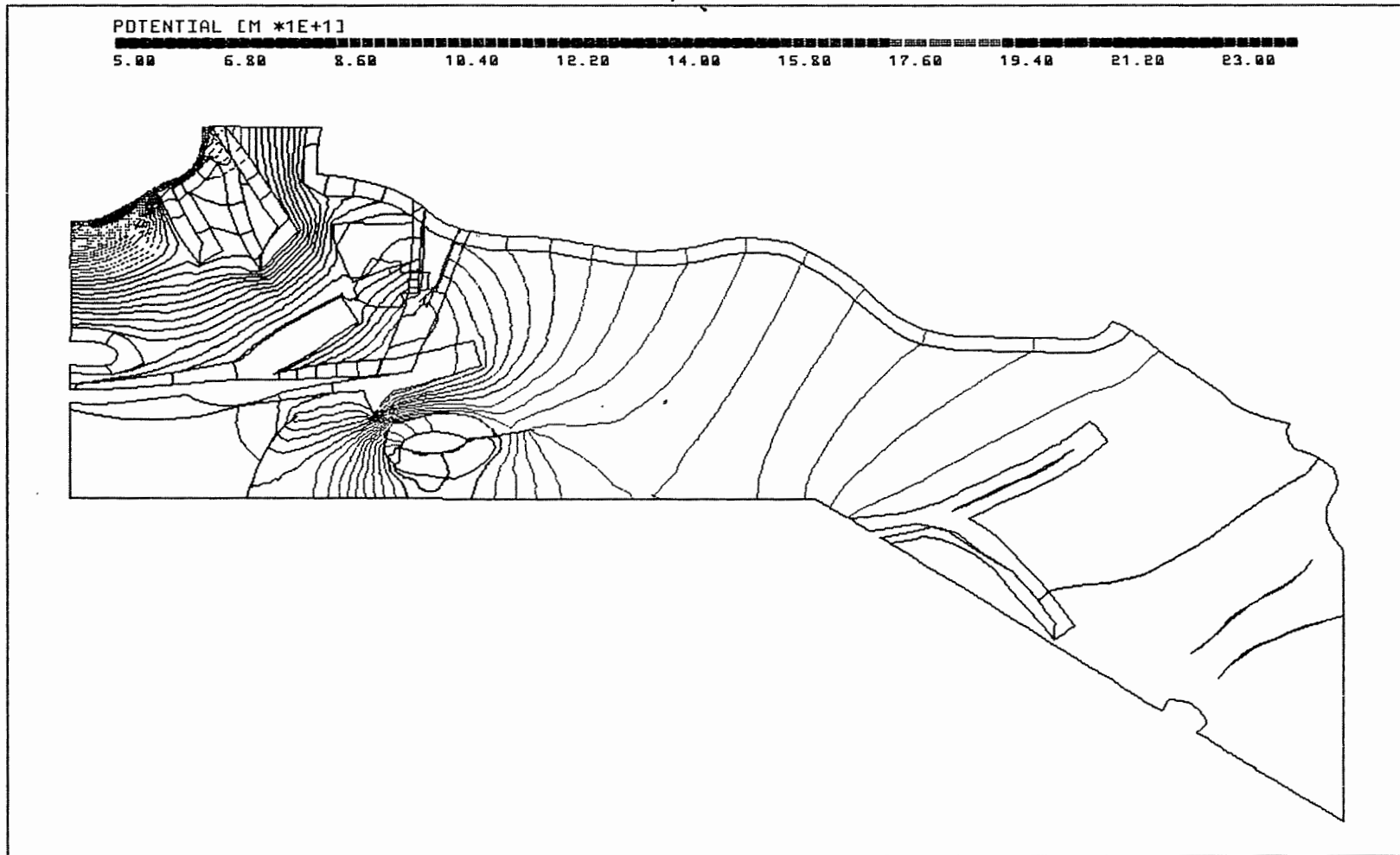
Anh. C1.1.11 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 13

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT14.EL PTB\_R01.RES 102/0



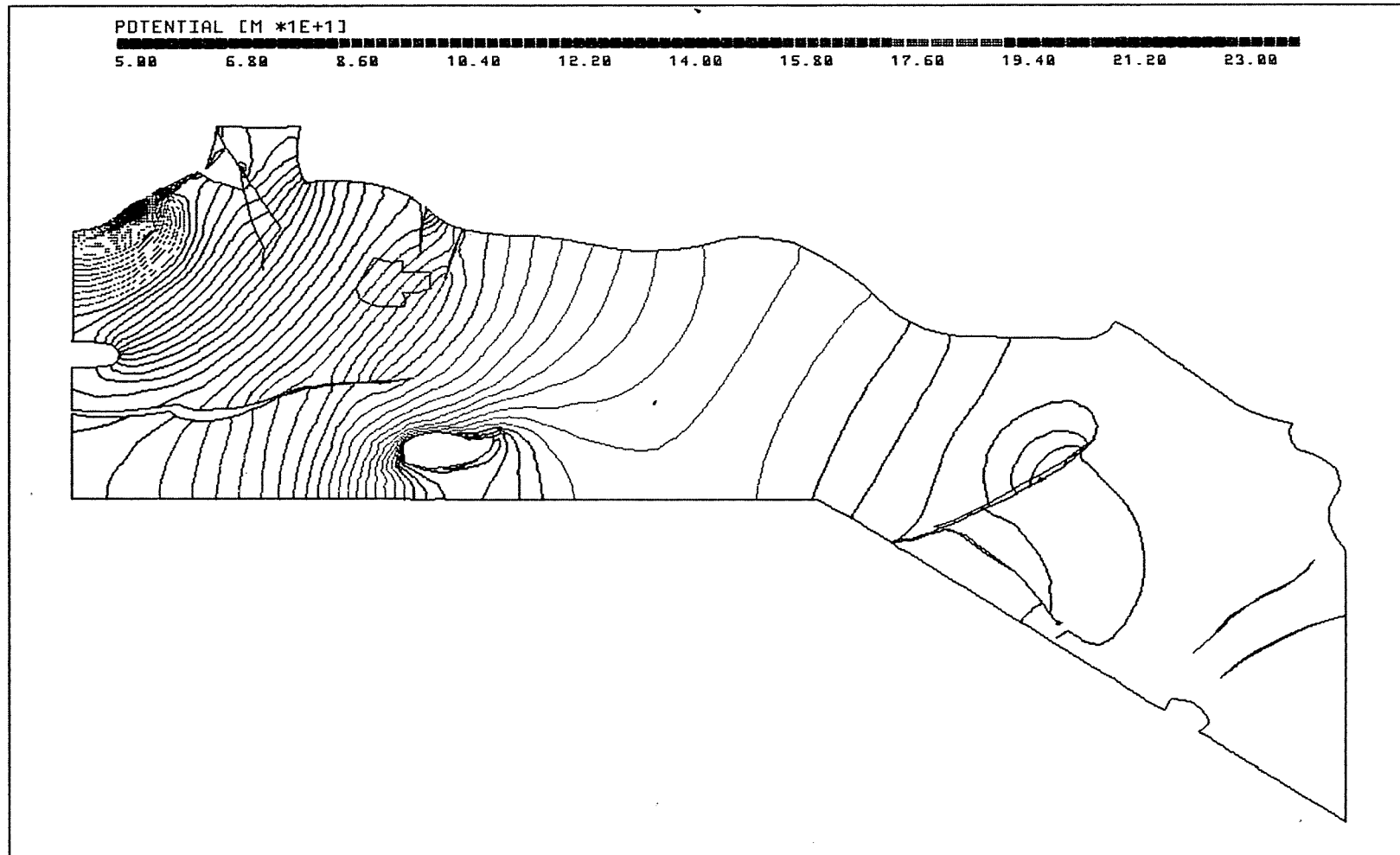
Anh. C1.1.12 Rechenfall R01: Potentiale im Schnitt 14

PTB.XYZ MO\_BOT.EL PTB\_R01.RES 90/90



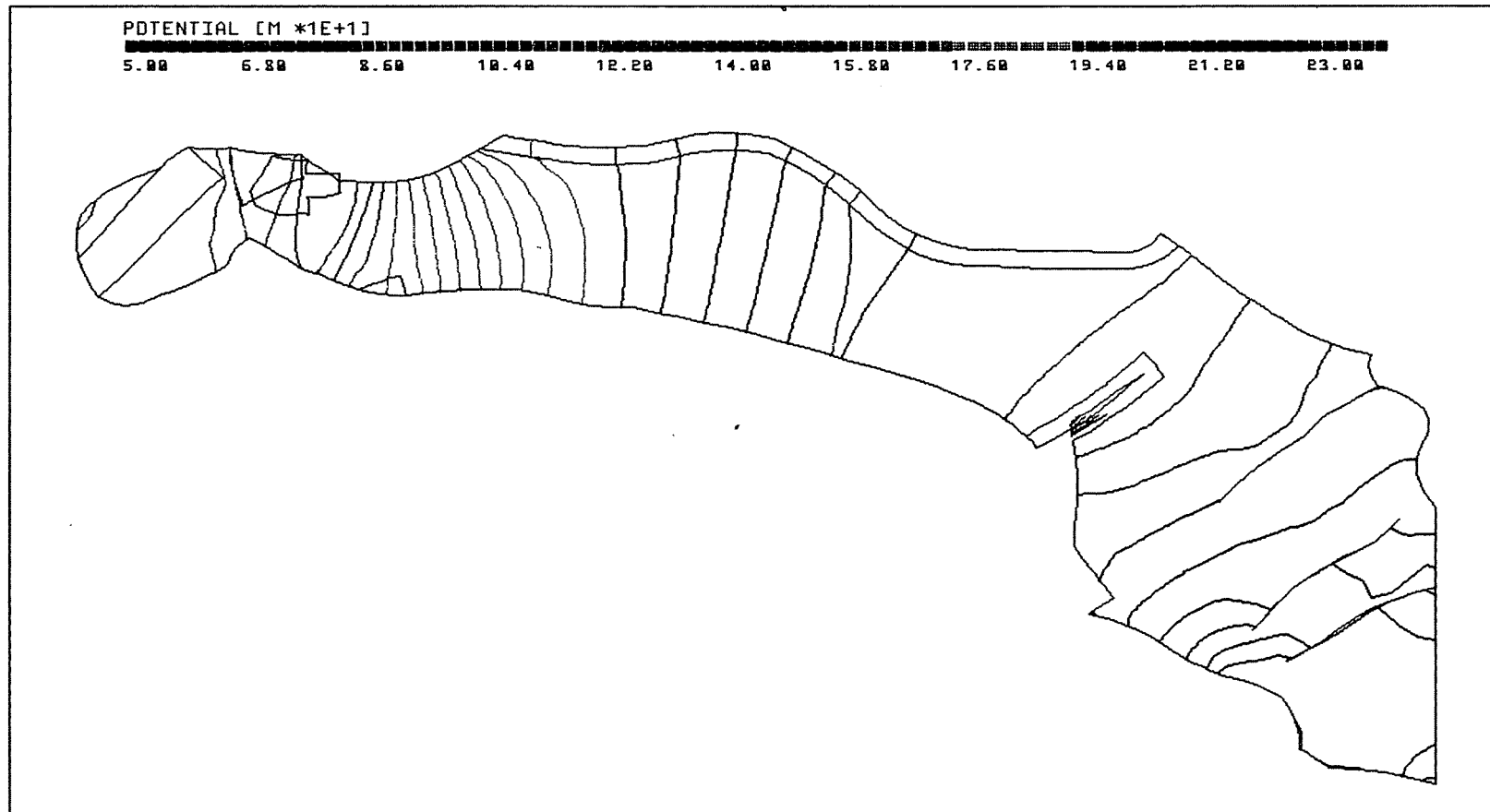
Anh. C1.2.1 Rechenfall R01: Potentiale an der Basis des Oberen Muschelkalks

PTB.XYZ KO\_BOT.EL PTB\_R01.RES 90/90



Anh. C1.2.2 Rechenfall R01: Potentiale an der Basis des Rhät

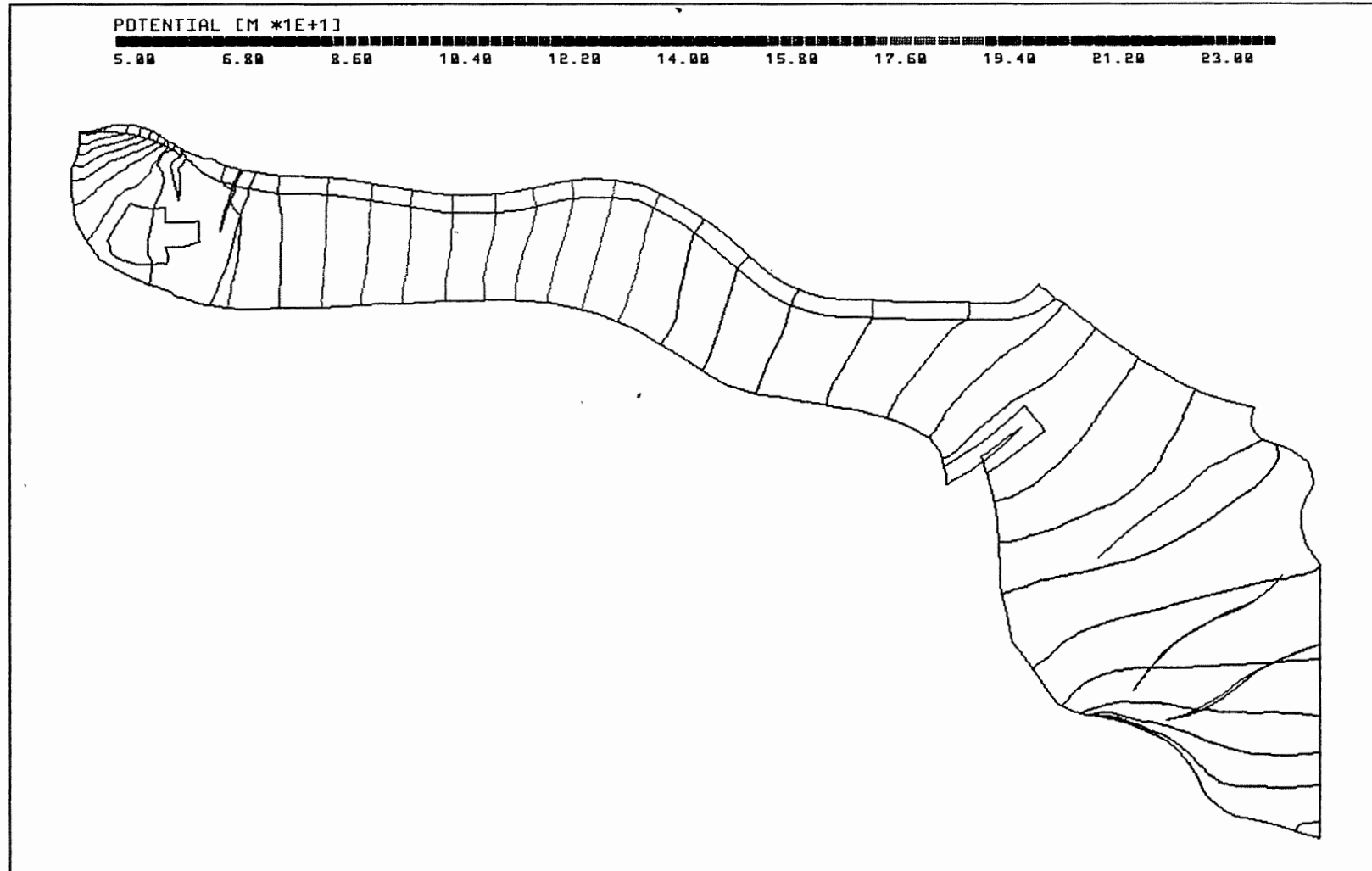
PTB.XYZ C\_BOT.EL PTB\_R01.RES 90/90



Anh. C1.2.3 Rechenfall R01: Potentiale an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

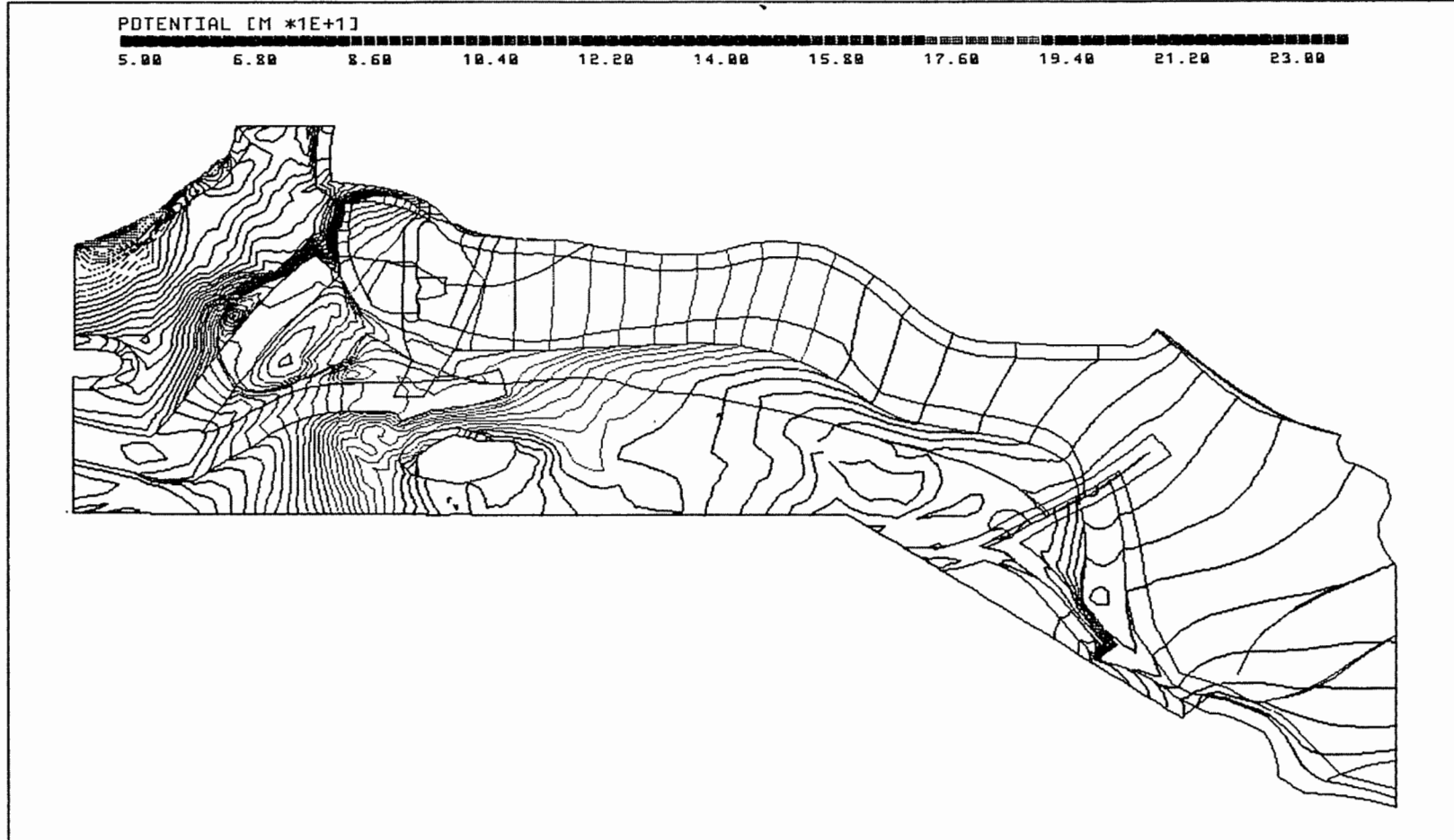


PTB.XYZ OX\_BOT.EL PTB\_R01.RES 90/90



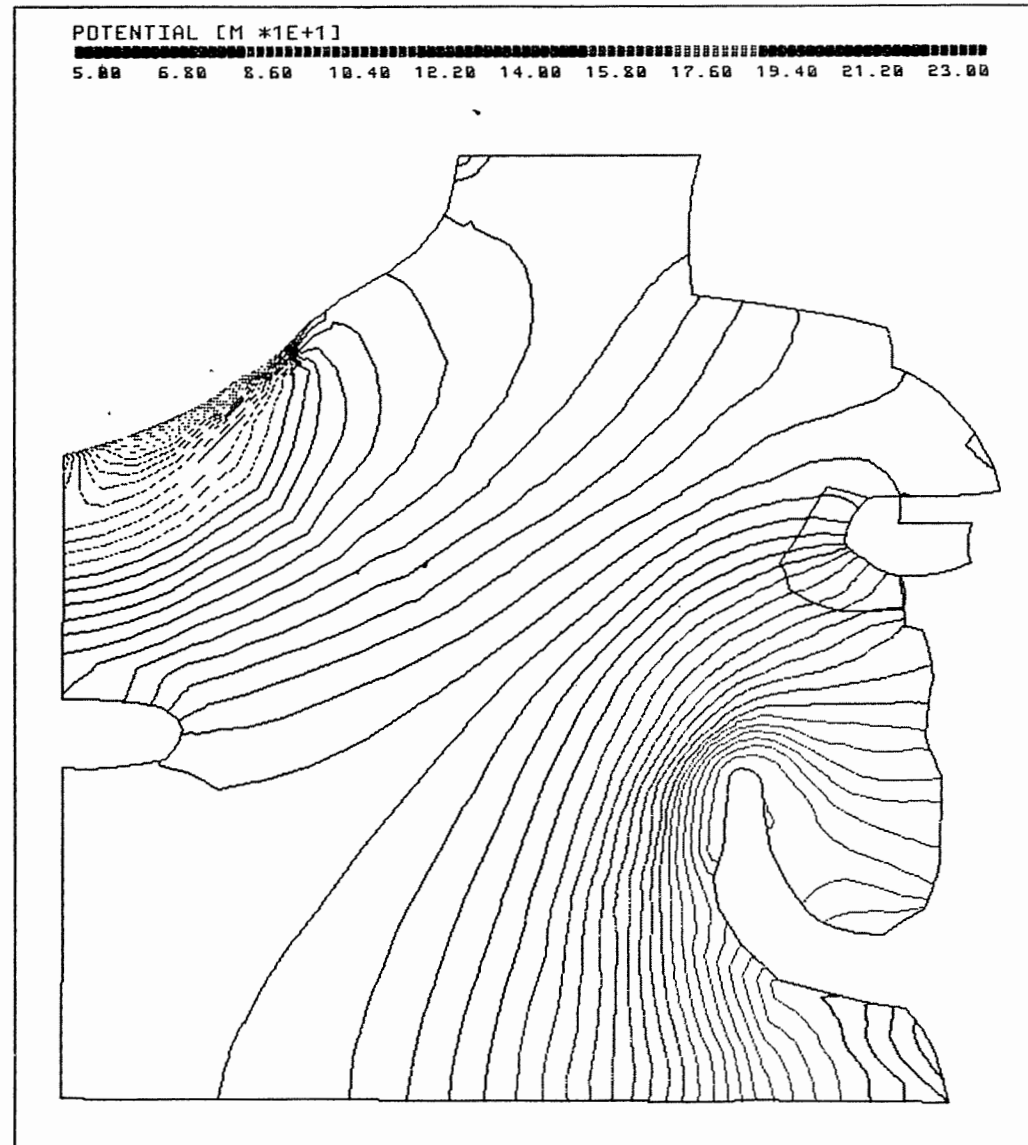
Anh. C1.2.4 Rechenfall R01: Potentiale an der Basis des Oxford

PTB.XYZ KRU\_BOT.EL PTB\_R01.RES 90/90



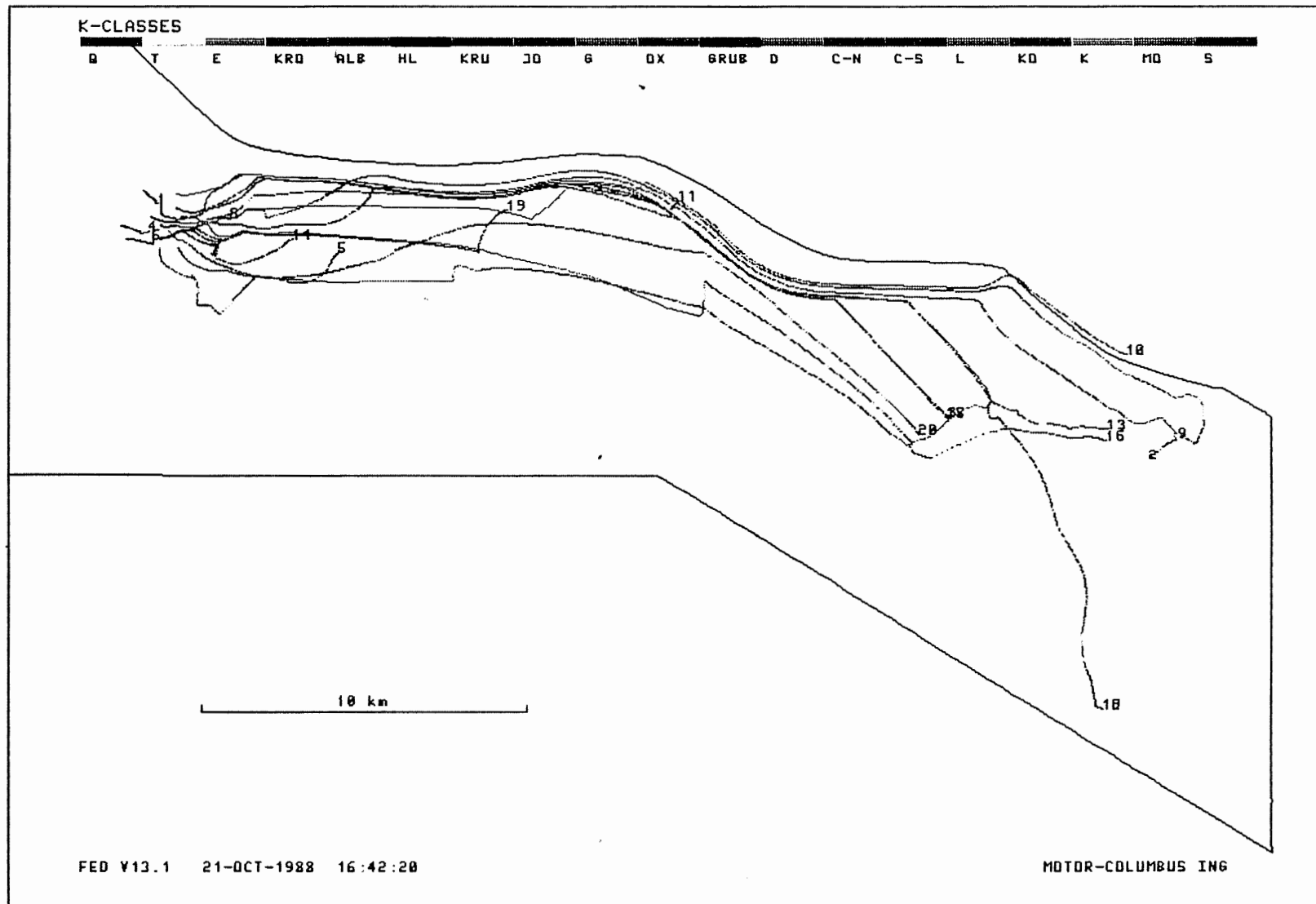
Anh. C1.2.5 Rechenfall R01: Potentiale an der Basis der Unterkreide

PTB.XYZ HL\_BOT.EL PTB\_R01.RES 90/90



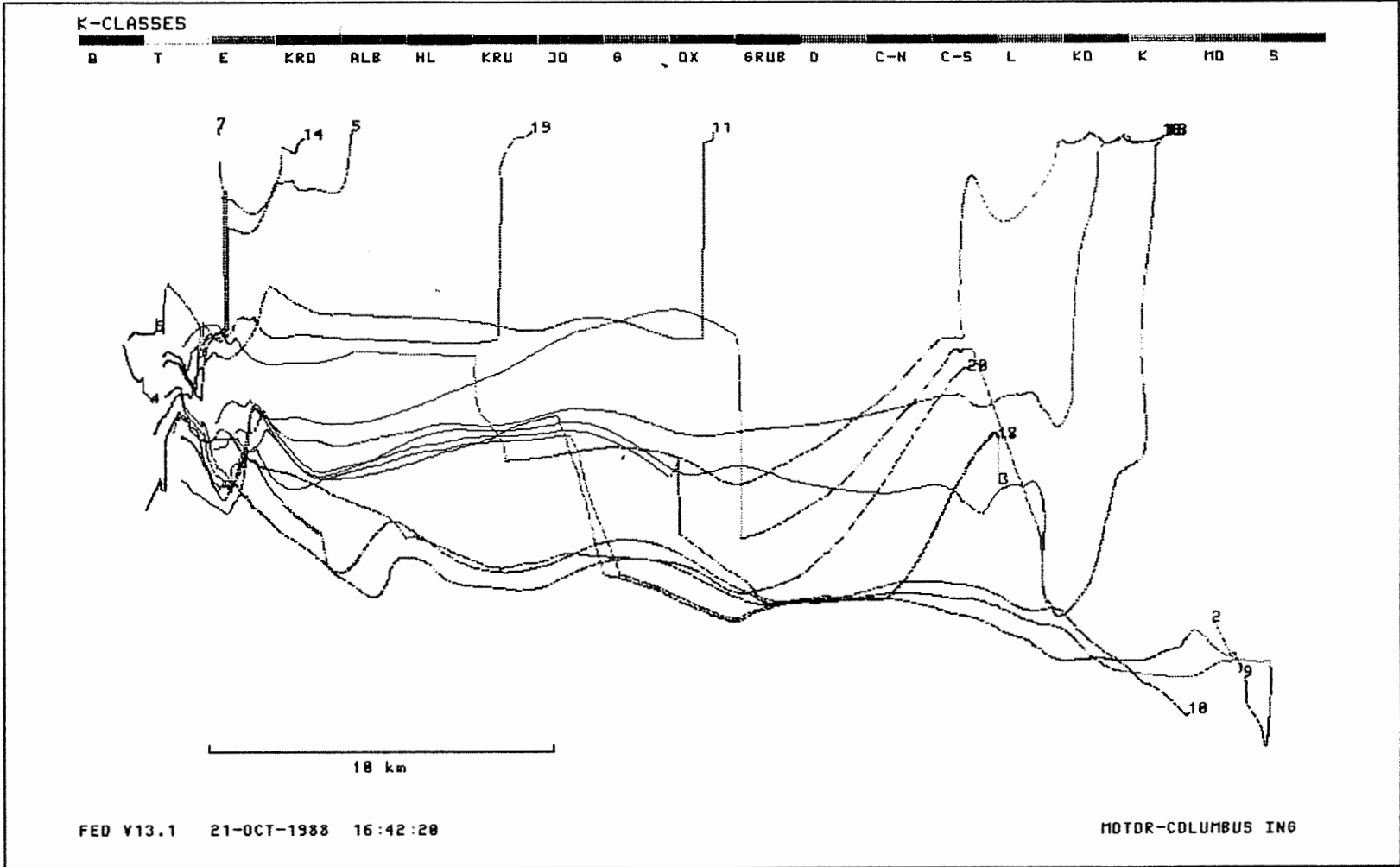
Anh. C1.2.6 Rechenfall R01: Potentiale an der Basis des Hilssandsteins

R01: FLIESSWEGE (GRUNDRISS)



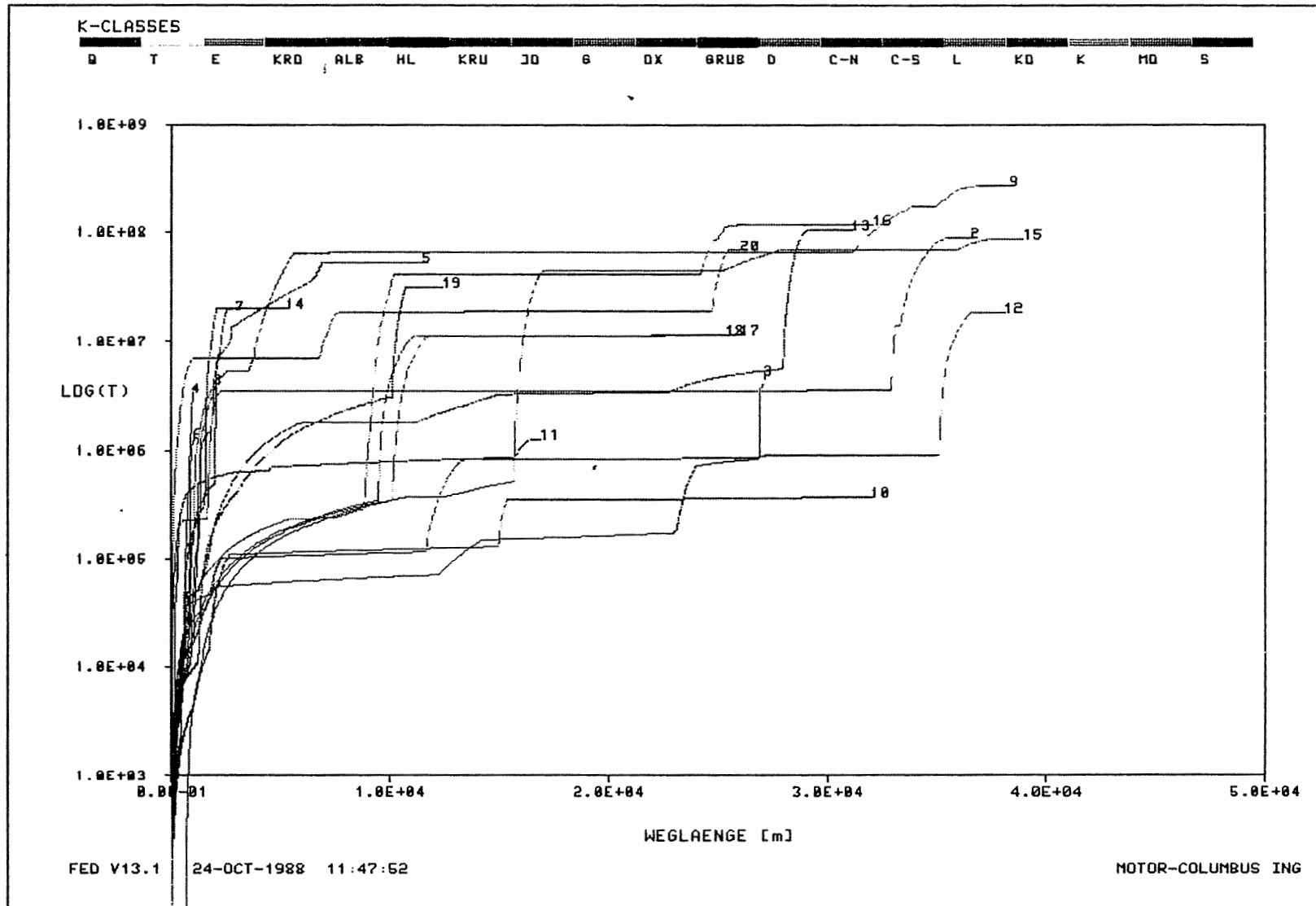
Anh. C1.3.1 Rechenfall R01: Fließwege im Grundriss

R01: FLIESSWEGE (AUFRISS, 8-FACH UEBERHOEHT)



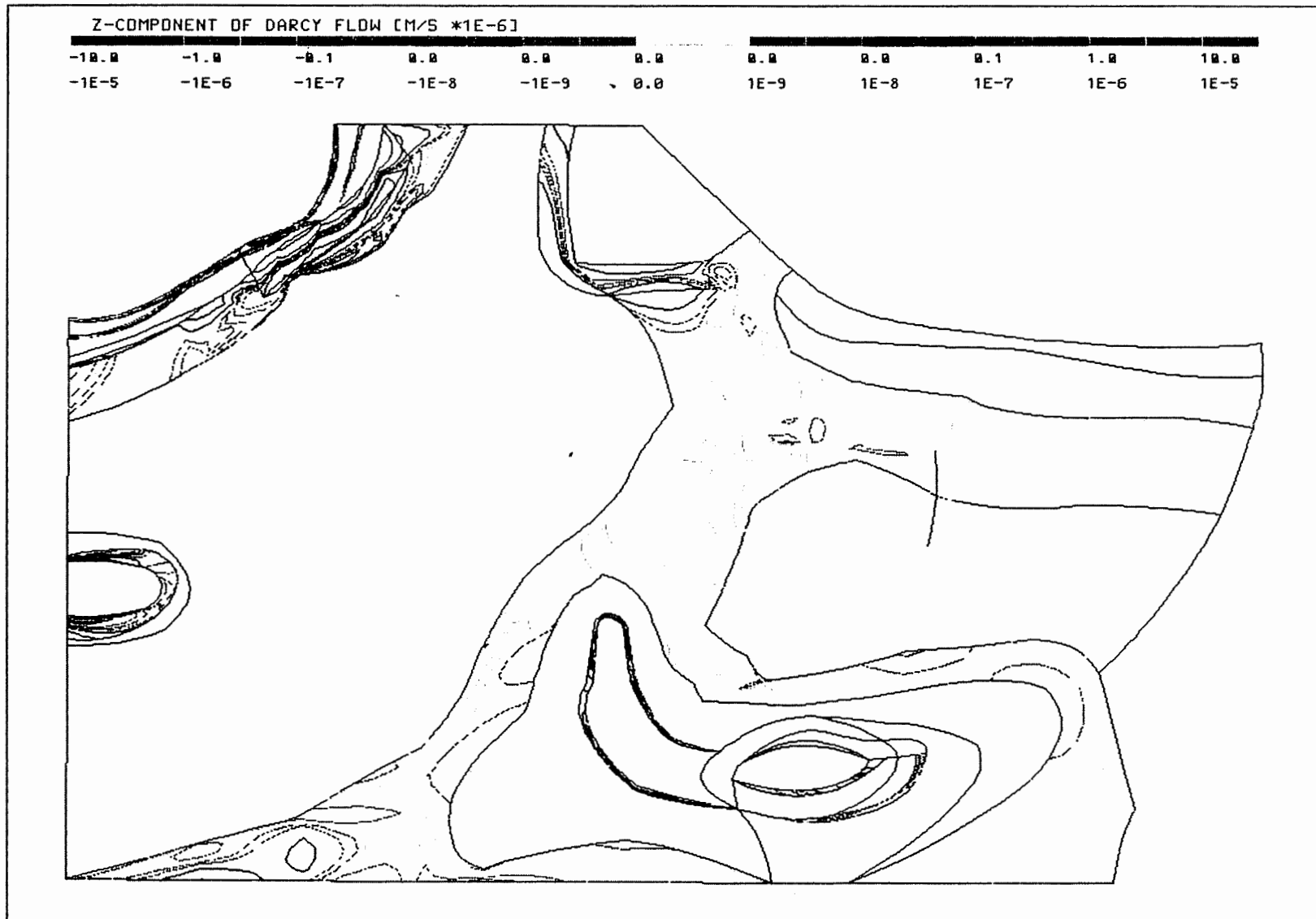
Anh. C1.3.2 Rechenfall R01: Fließwege im Aufriss

R01: WEG-ZEIT-DIAGRAMM DER FLISSWEGE



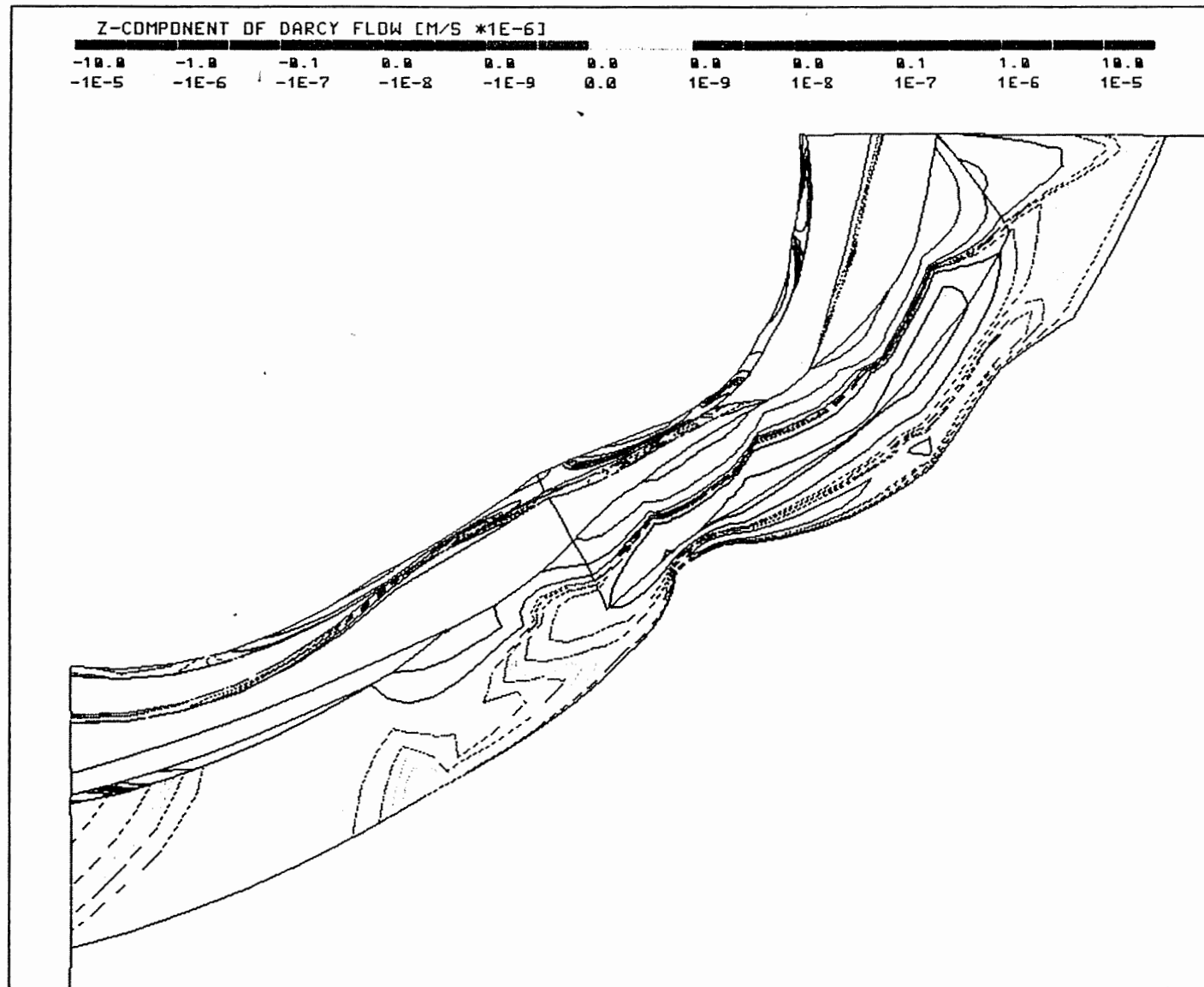
Anh. C1.3.3 Rechenfall R01: Weg-Zeit-Diagramm der Fließwege  
(Zeit im logarithmischen Massstab)

R01: INFILTRATION BASIS QUARTAER (KRO HIL KO MO)



Anh. C1.4.1 Rechenfall R01: Flüsse durch die Quartärbasis im Südabschnitt  
in allen Schichteinheiten

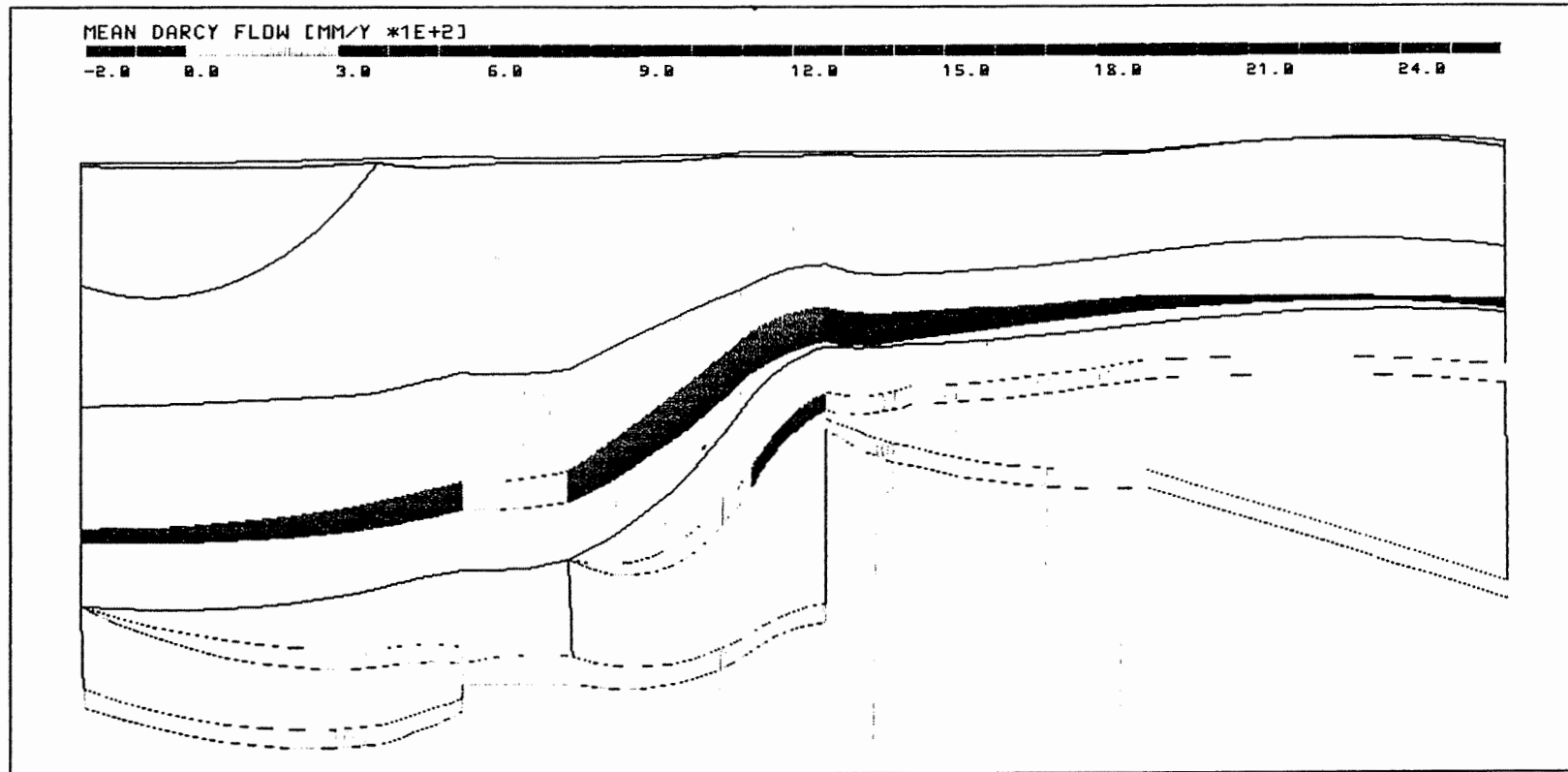
R01: INFILTRATION BASIS QUARTÄER (KRO HIL KO MO)



Anh. C1.4.2 Rechenfall R01: Flüsse durch die Quartärbasis im Salzgitter Höhenzug im Oberen Muschelkalk, Rhät, Hilssandstein und in den Plänerkalcken

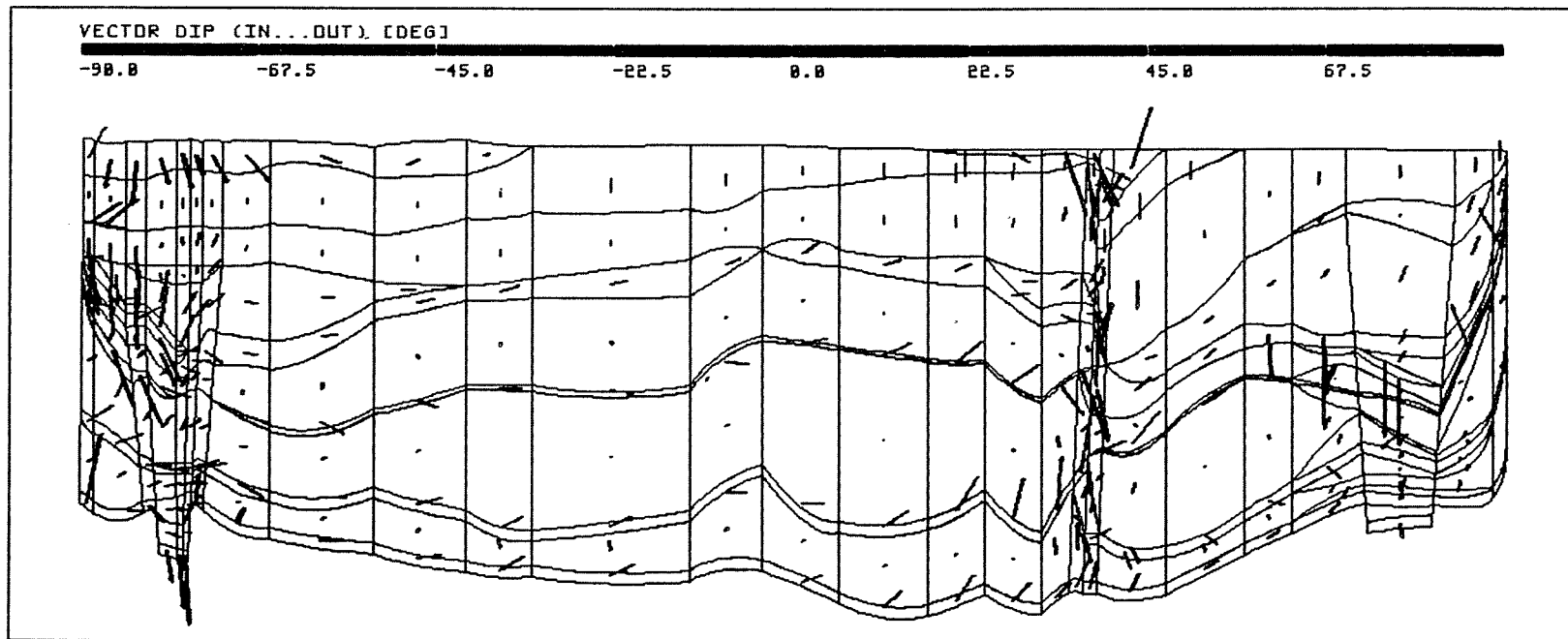


R01: MITTLERER DURCHFLUSS DURCH SCHNITT1 (2-FACH UEBERHOEHT) 236/0



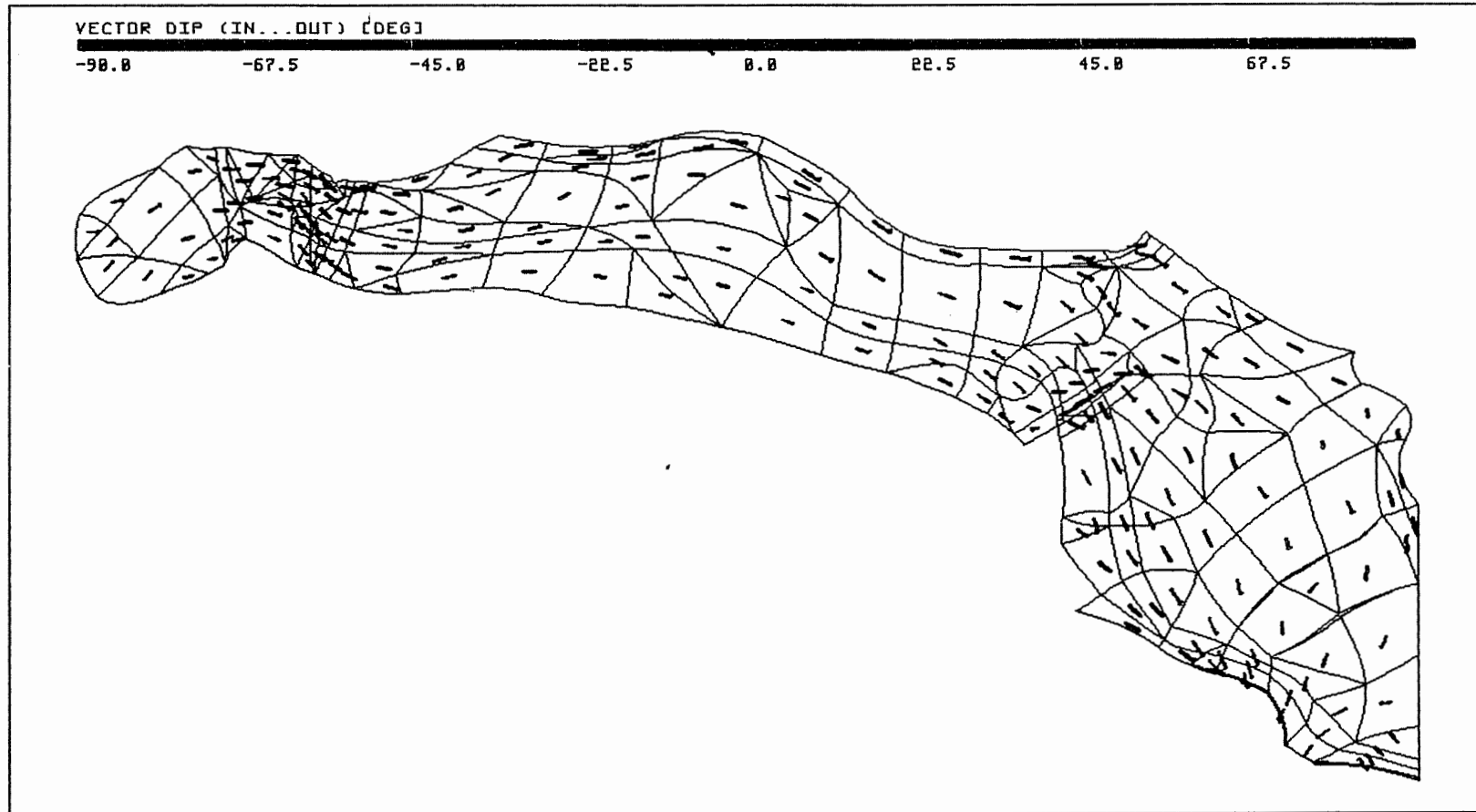
Anh. C1.5.1 Rechenfall R01: Flüsse durch die Wasserleiter des Schnittes 1

R01: DARCY-FLUSS



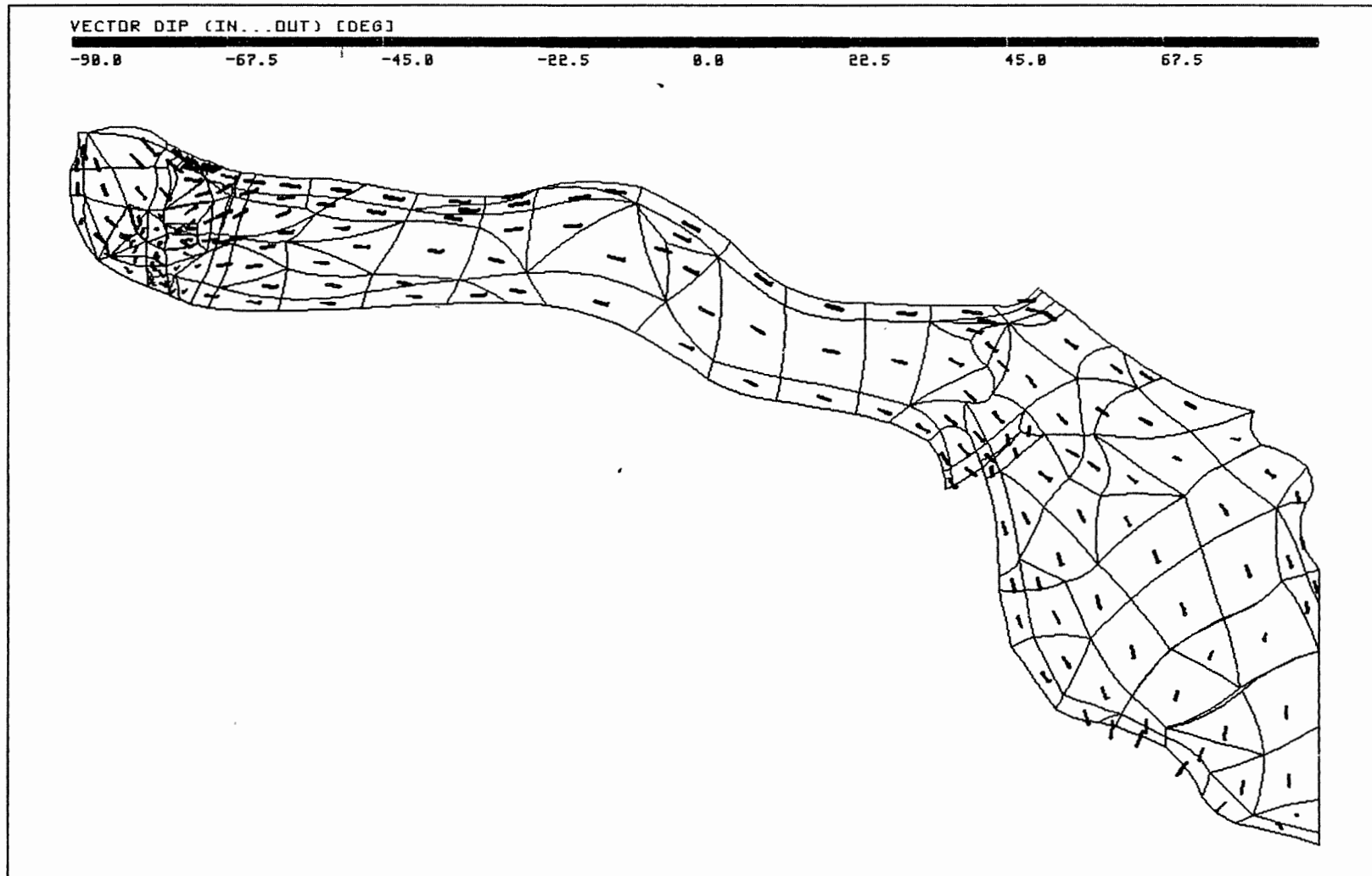
Anh. C1.6.1 Rechenfall R01: Vektoren der Filtergeschwindigkeit im Schnitt 8-9-10

PTB.XYZ C\_TOP.EL R01\_CO.FLX 90/90



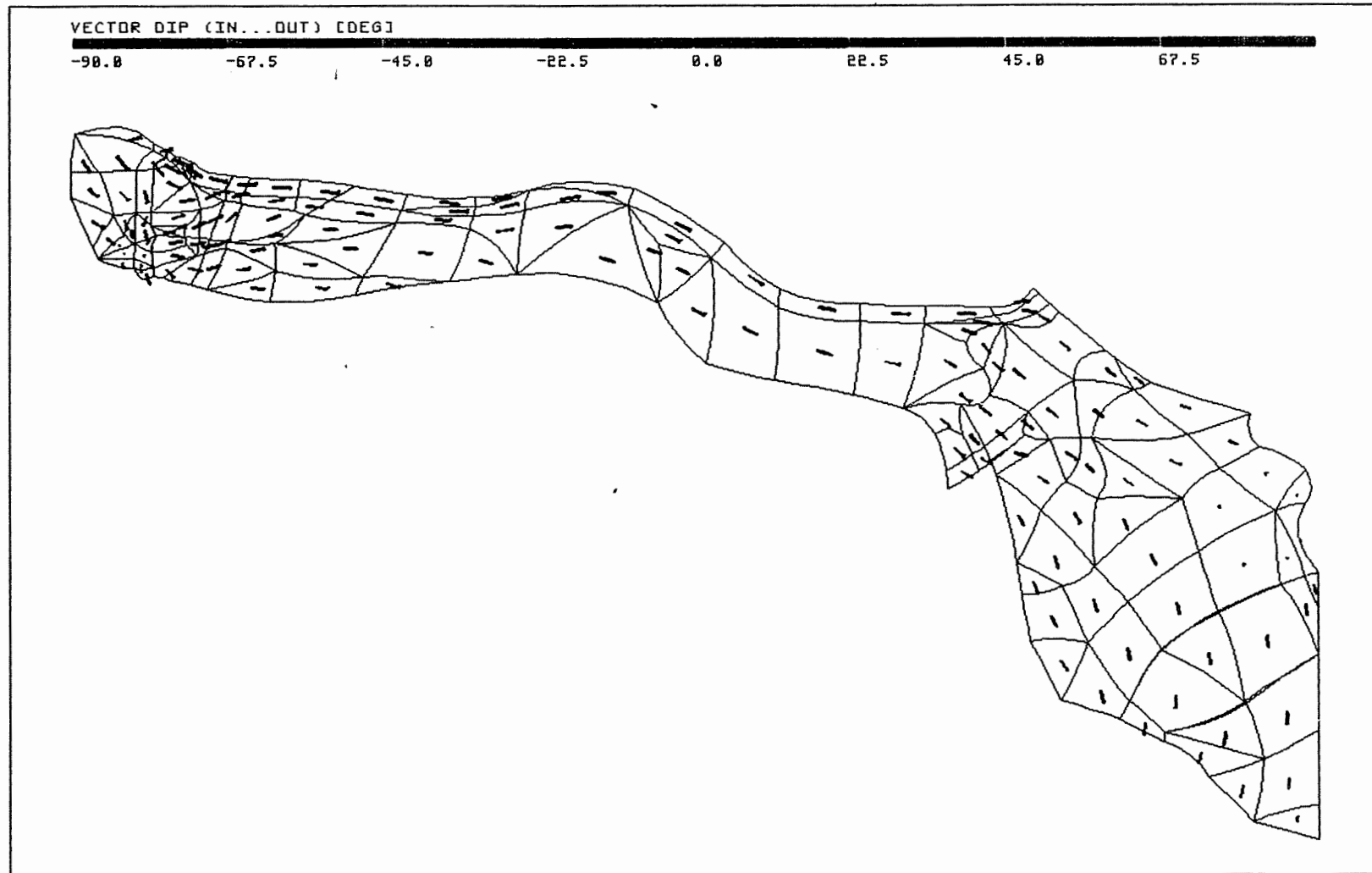
Anh. C1.6.2 Rechenfall R01: Vektoren der Filtergeschwindigkeit in der Oberfläche des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ OX\_TOP.EL R01\_OX.FLX 90/90



Anh. C1.6.3 Rechenfall R01: Vektoren der Filtergeschwindigkeit in der Oberfläche des Oxford

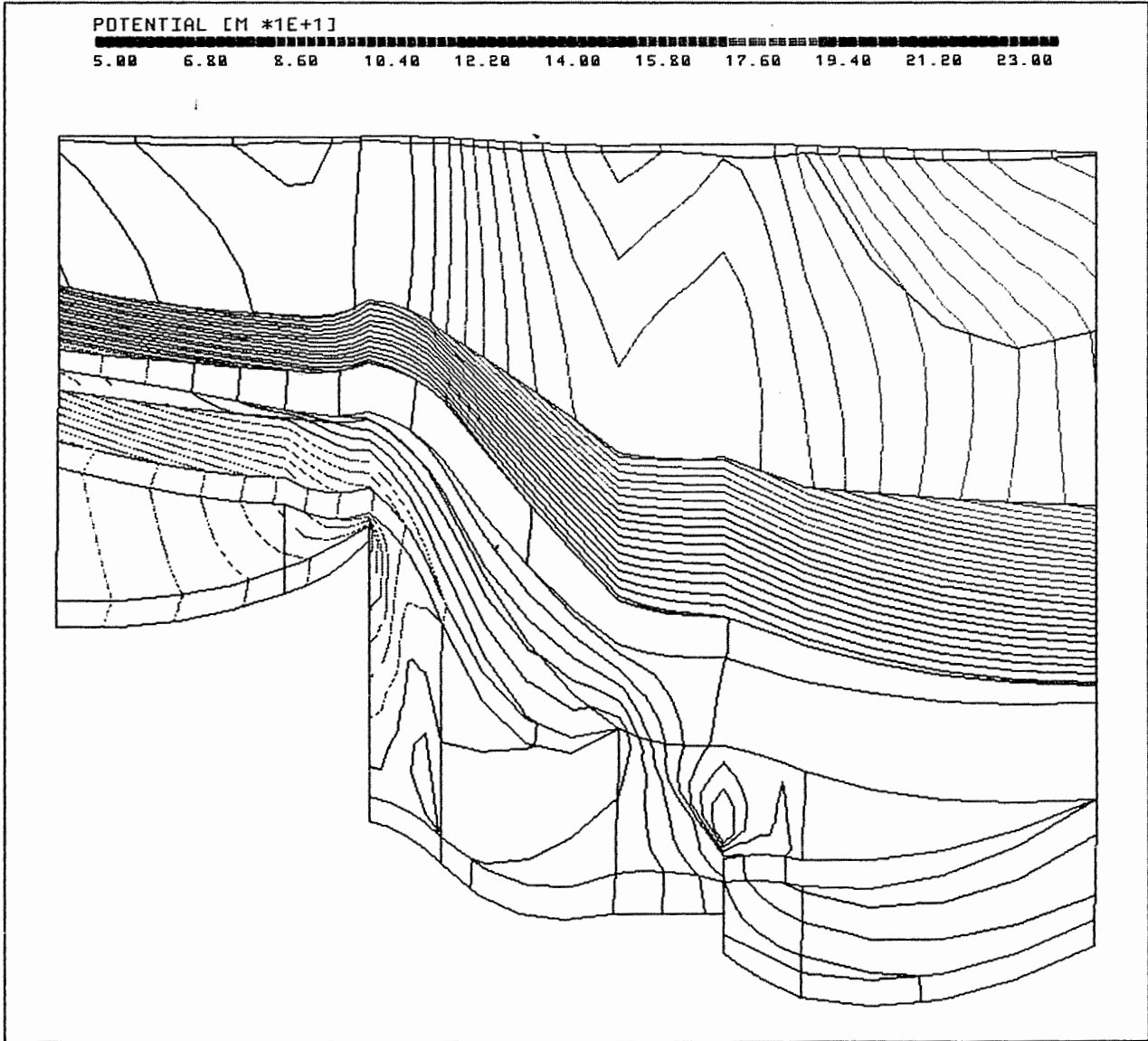
PTB.XYZ JO\_TOP.EL R01\_JO.FLX 90/90



Anh. C1.6.4 Rechenfall R01: Vektoren der Filtergeschwindigkeit in der Oberfläche des Kimmeridge

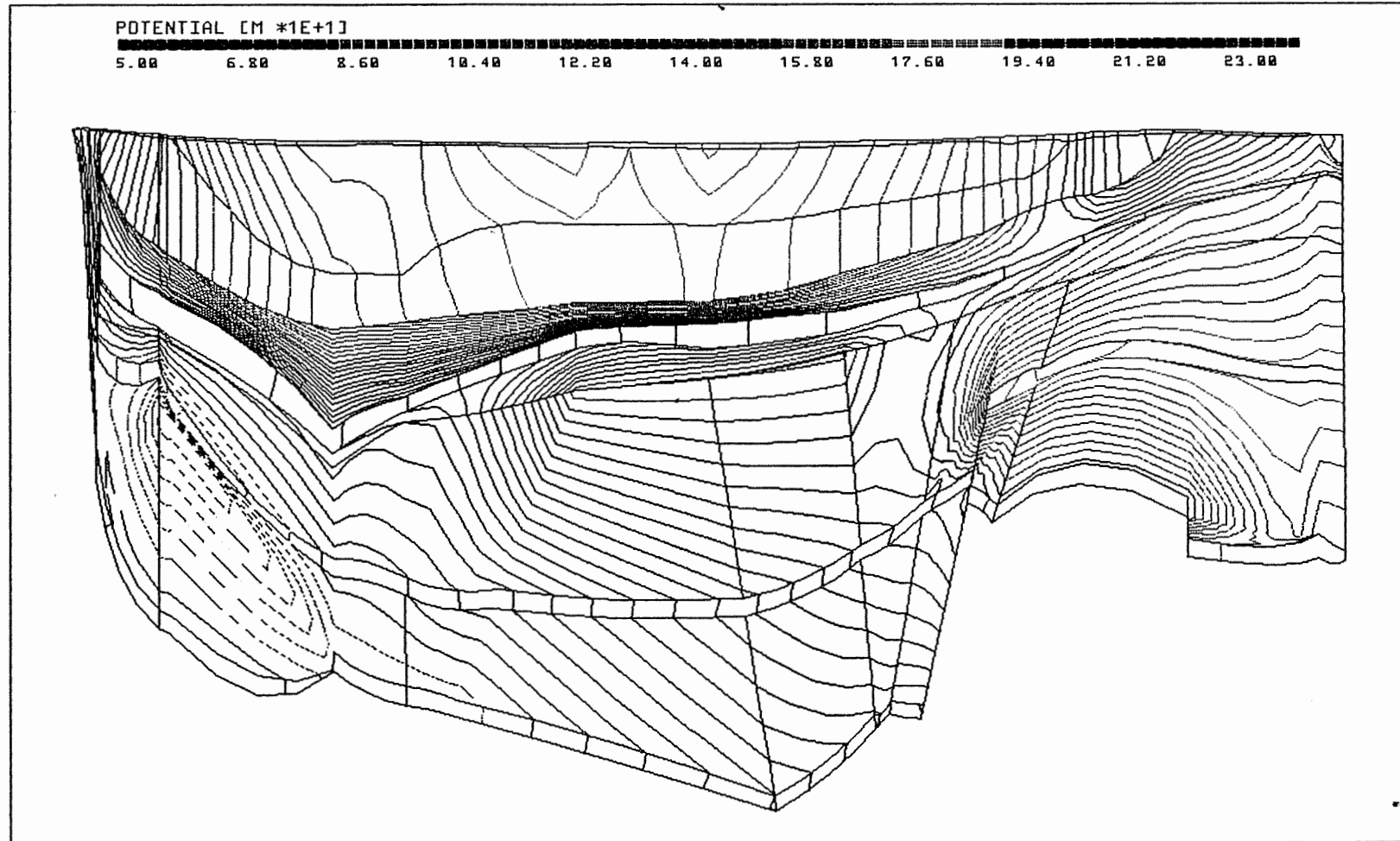
- 2.                   **Rechenfall R02**
  
- 2.1               Potentiale, Schnitte
- 2.1.1           Schnitt 1
- 2.1.2           Schnitt 2
- 2.1.3           Schnitt 3
- 2.1.4           Schnitt 4
- 2.1.5           Schnitt 5
- 2.1.6           Schnitt 6
- 2.1.7           Schnitt 7
- 2.1.8           Schnitt 8-9
- 2.1.9           Schnitt 10
- 2.1.10          Schnitt 12
- 2.1.11          Schnitt 13
- 2.1.12          Schnitt 14
  
- 2.2               Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 2.2.1           Basis Oberer Muschelkalk
- 2.2.2           Basis Rhät
- 2.2.3           Basis Cornbrash-Sandstein
- 2.2.4           Basis Oxford
- 2.2.5           Basis Unterkreide
- 2.2.6           Basis Hilssandstein
  
- 2.3               Potentialunterschiede R02-R01, Schnitte
- 2.3.1           Schnitt 4
- 2.3.2           Schnitt 8-9
- 2.3.3           Schnitt 10
  
- 2.4               Potentialunterschiede R02-R01, Basisflächen von Schichteinheiten
- 2.4.1           Basis Oberer Muschelkalk
- 2.4.2           Basis Rhät
- 2.4.3           Basis Cornbrash-Sandstein
- 2.4.4           Basis Oxford
- 2.4.5           Basis Unterkreide
- 2.4.6           Basis Hilssandstein
  
- 2.5               Fliesswege
- 2.5.1           Grundriss
- 2.5.2           Aufriss
- 2.5.3           Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT1.EL PTB\_R02.RES 54/0



Anh. C2.1.1 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 1

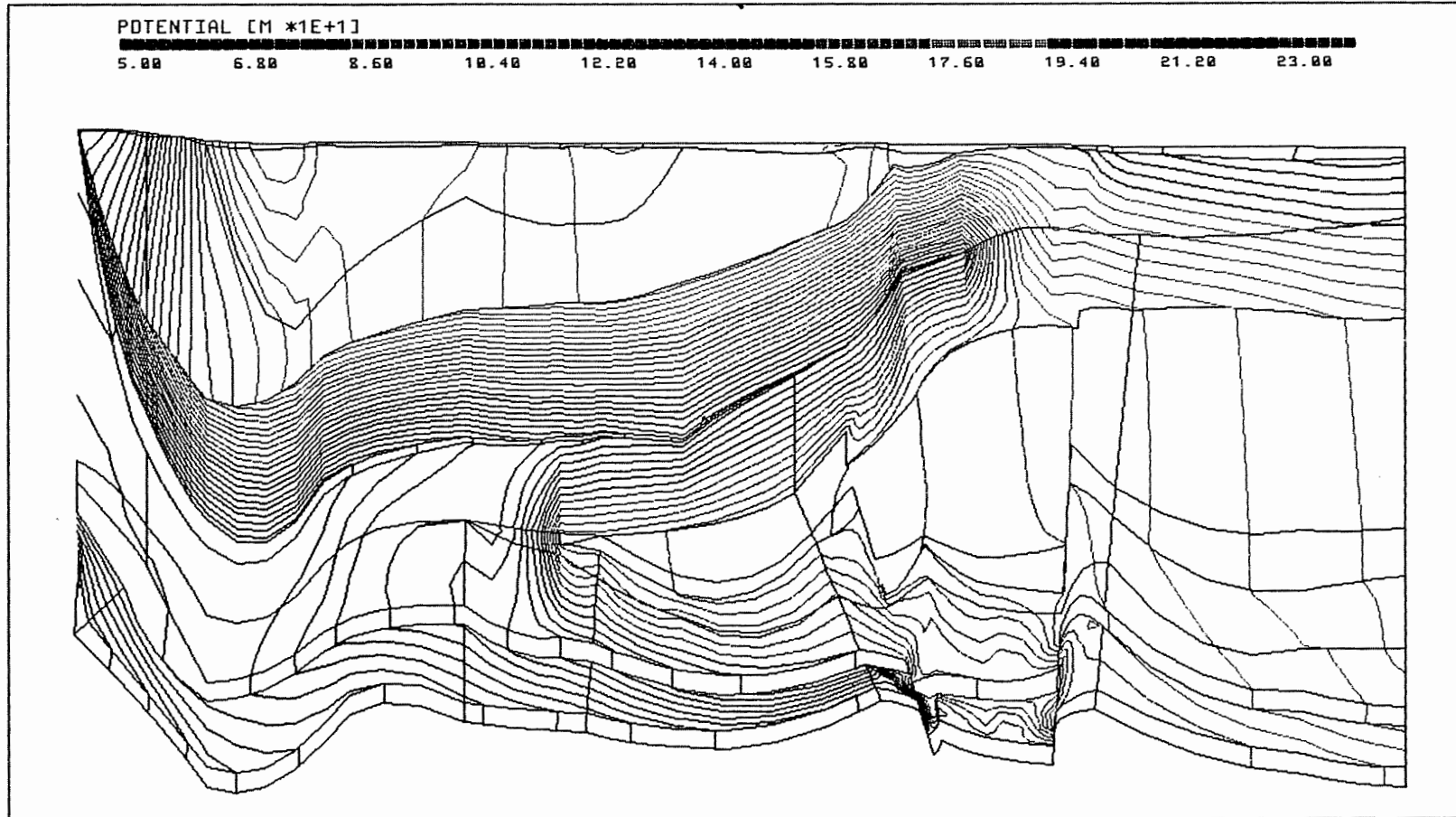
PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT2.EL PTB\_R02.RES 163/0



Anh. C2.1.2 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 2

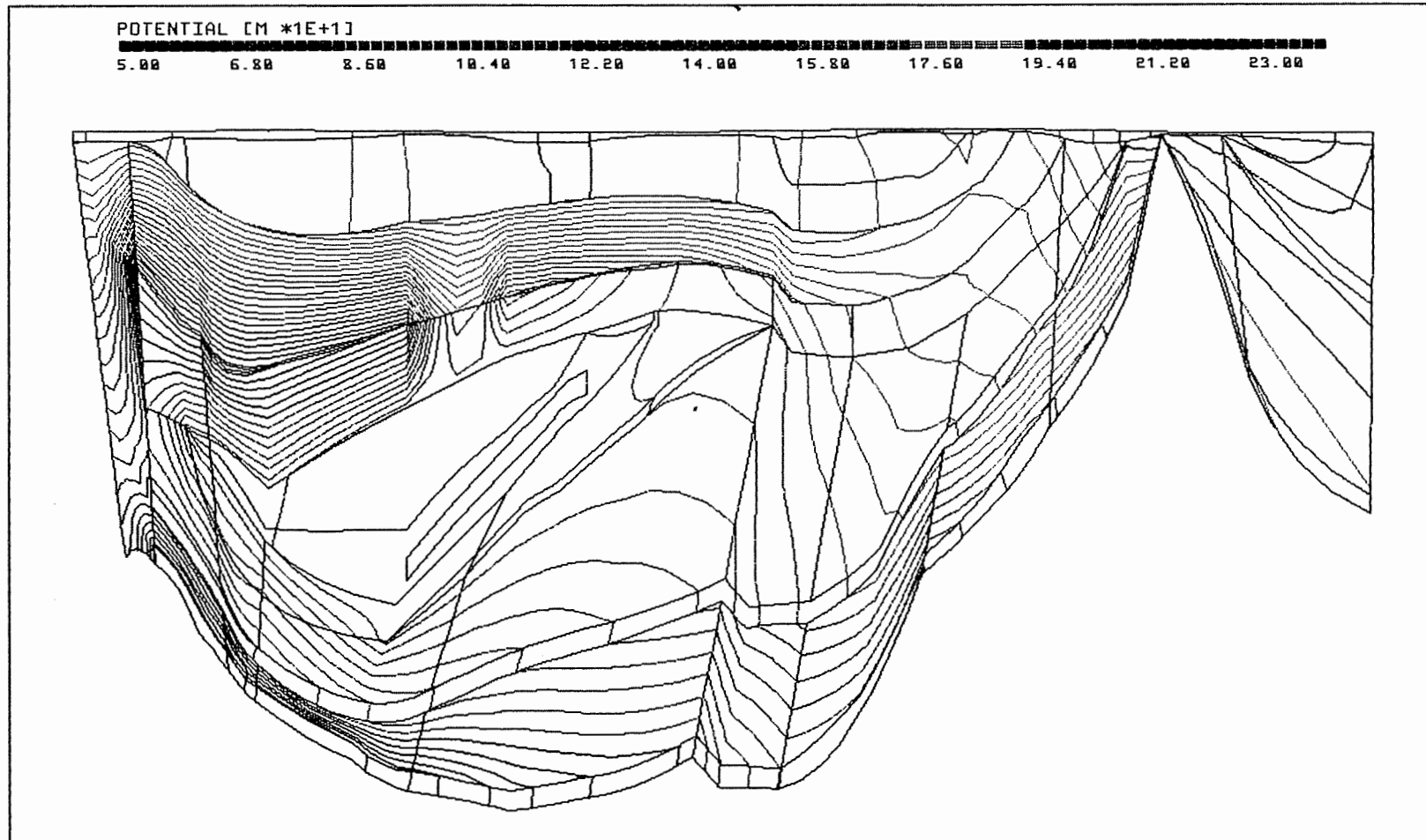


PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT3.EL PTB\_R02.RES 108/0



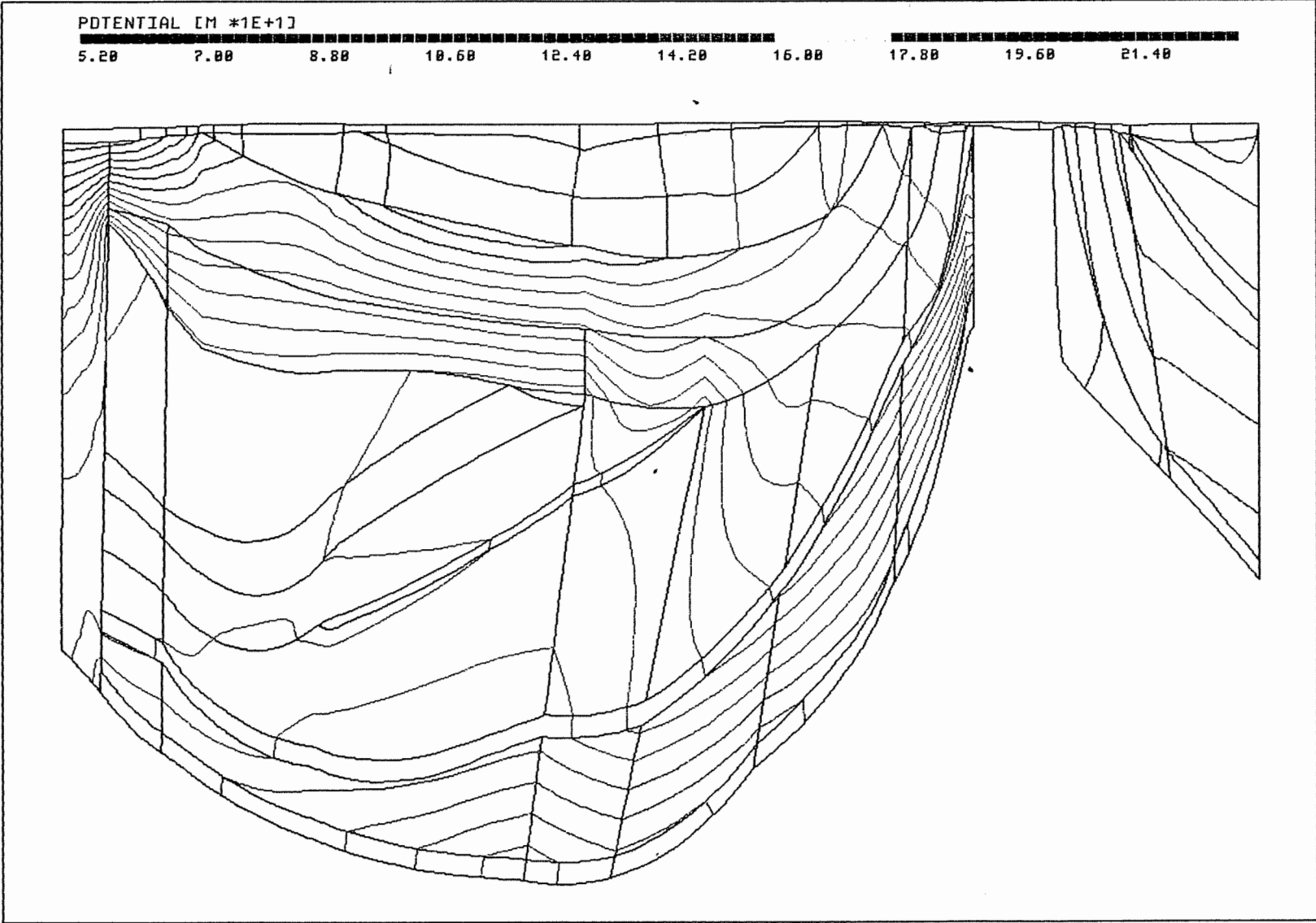
Anh. C2.1.3 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 3

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL PTB\_R02.RES 177/0



Anh. C2.1.4 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 4

PTB.XYZ(Z\*3.0) SCHNITT5.EL PTB\_R02.RES 186/0

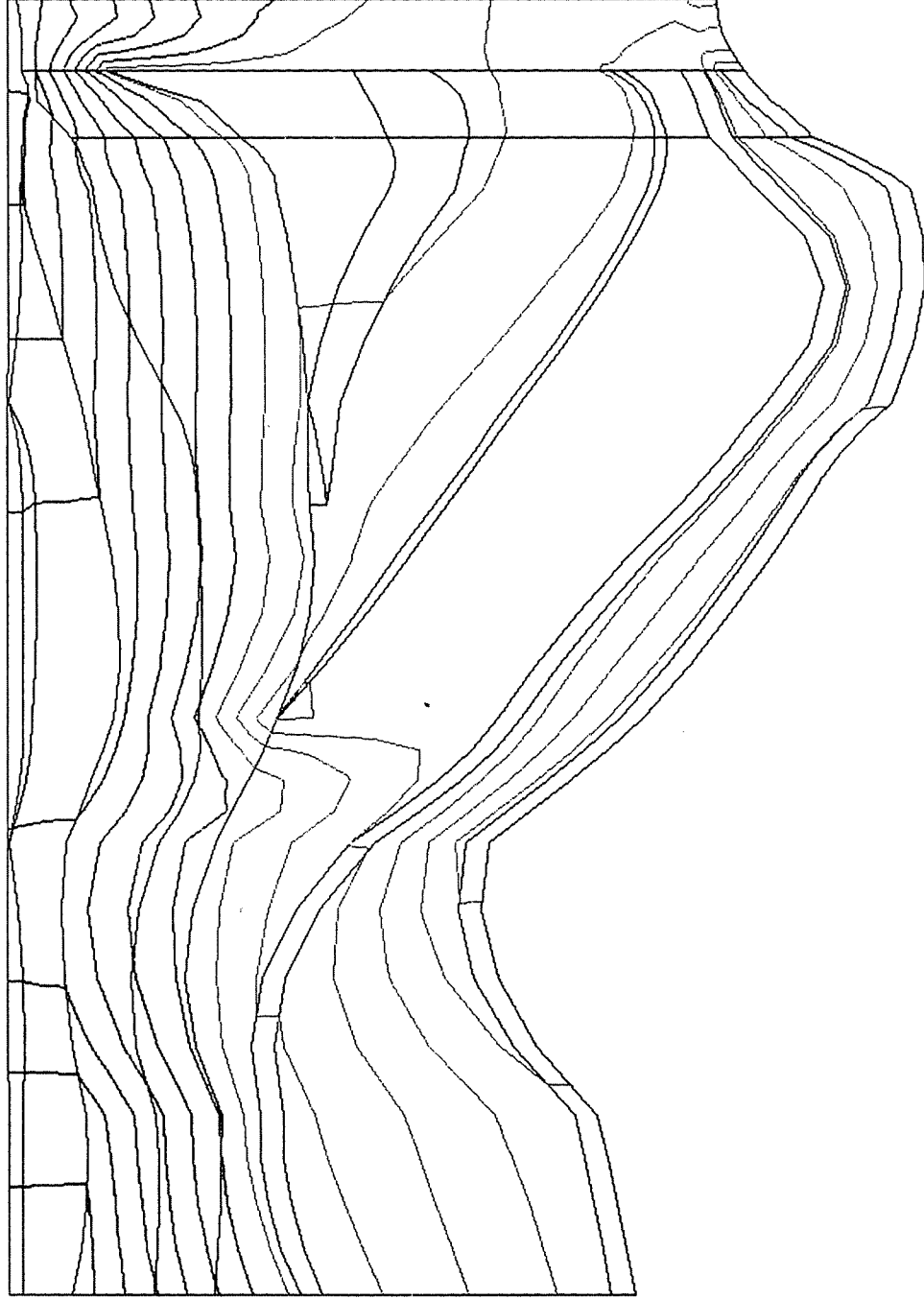


Anh. C2.1.5 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 5

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT6.EL PTB\_R02.RES 20/0

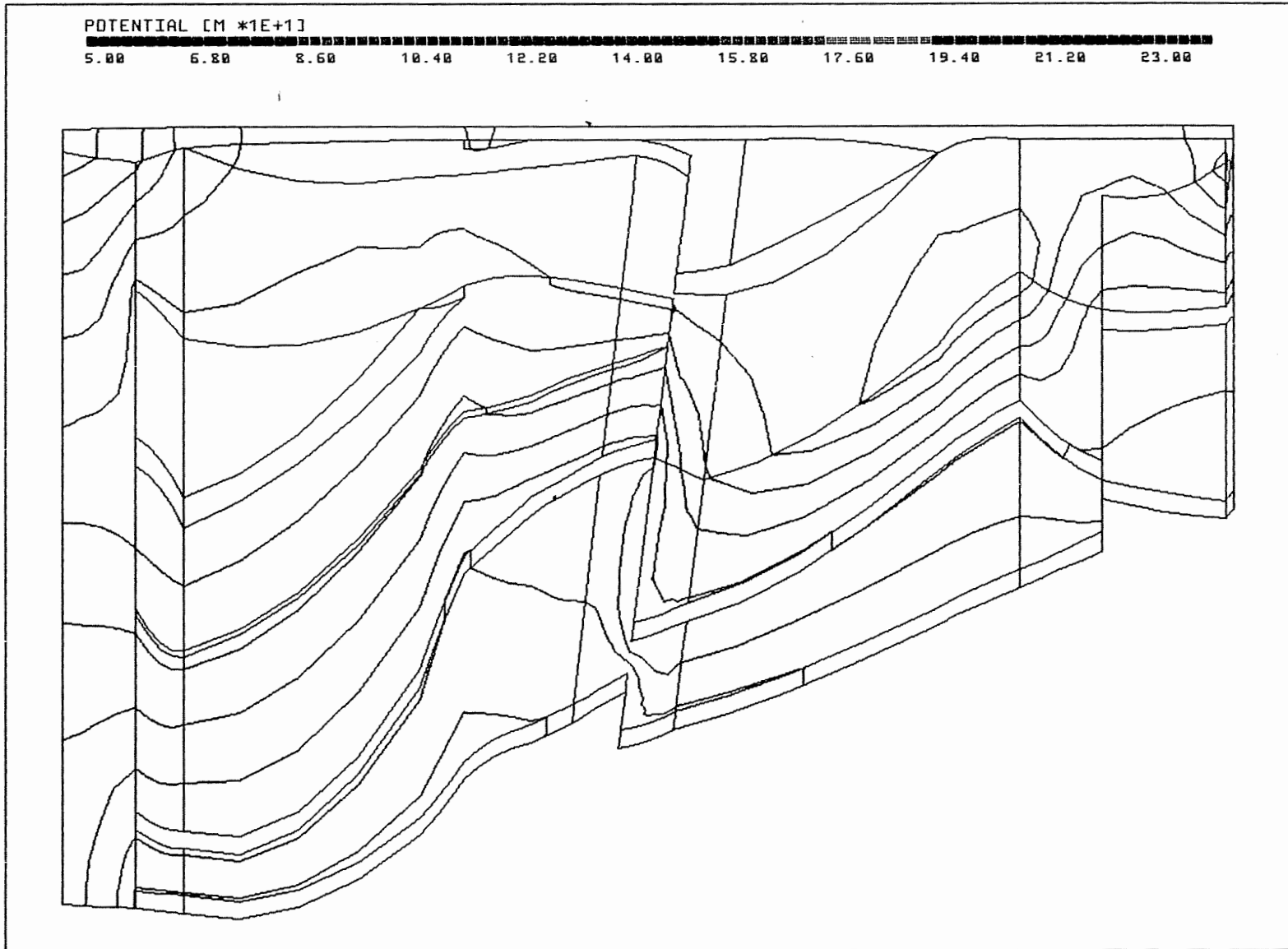
POTENTIAL [M \*1E+1]

5.00 6.50 8.50 10.40 12.20 14.00 15.80 17.60 19.40 21.20 23.00



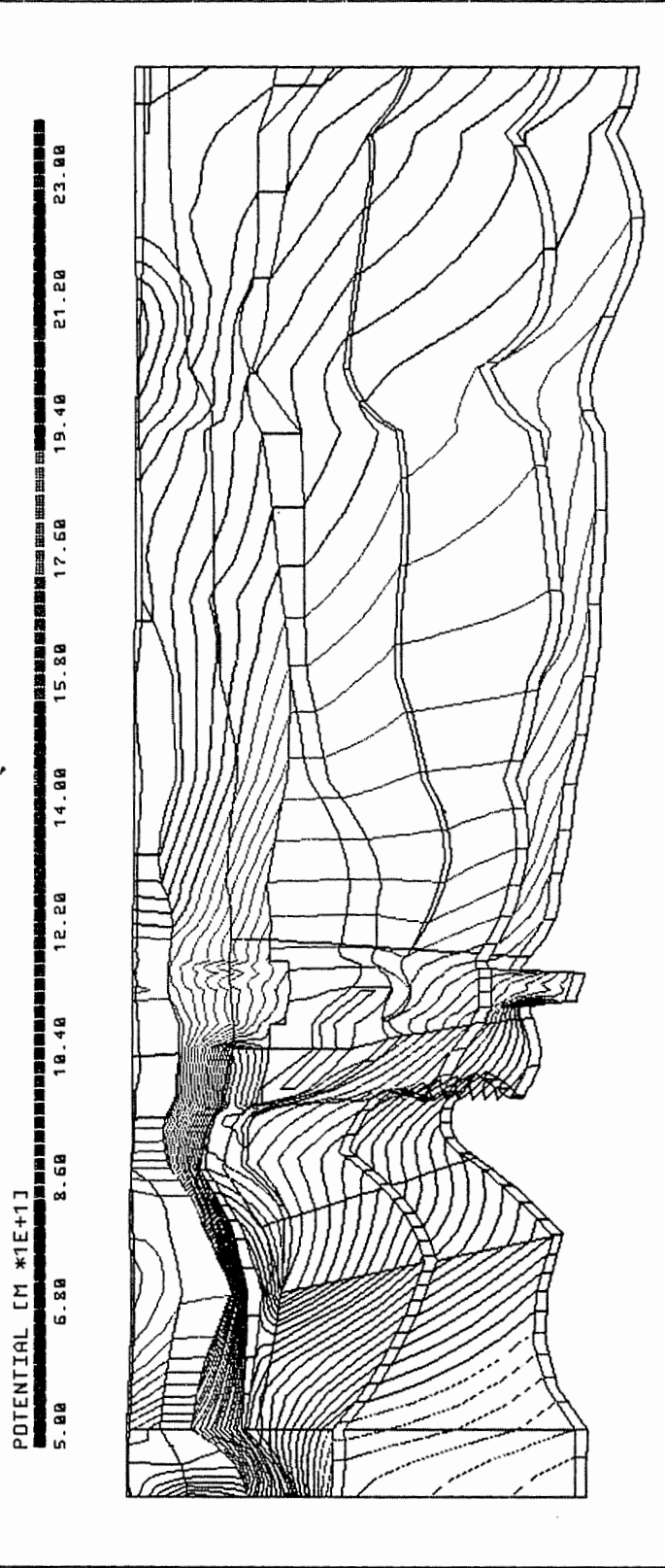
Anh. C2.1.6 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 6

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT7.EL PTB\_R02.RES 174/0



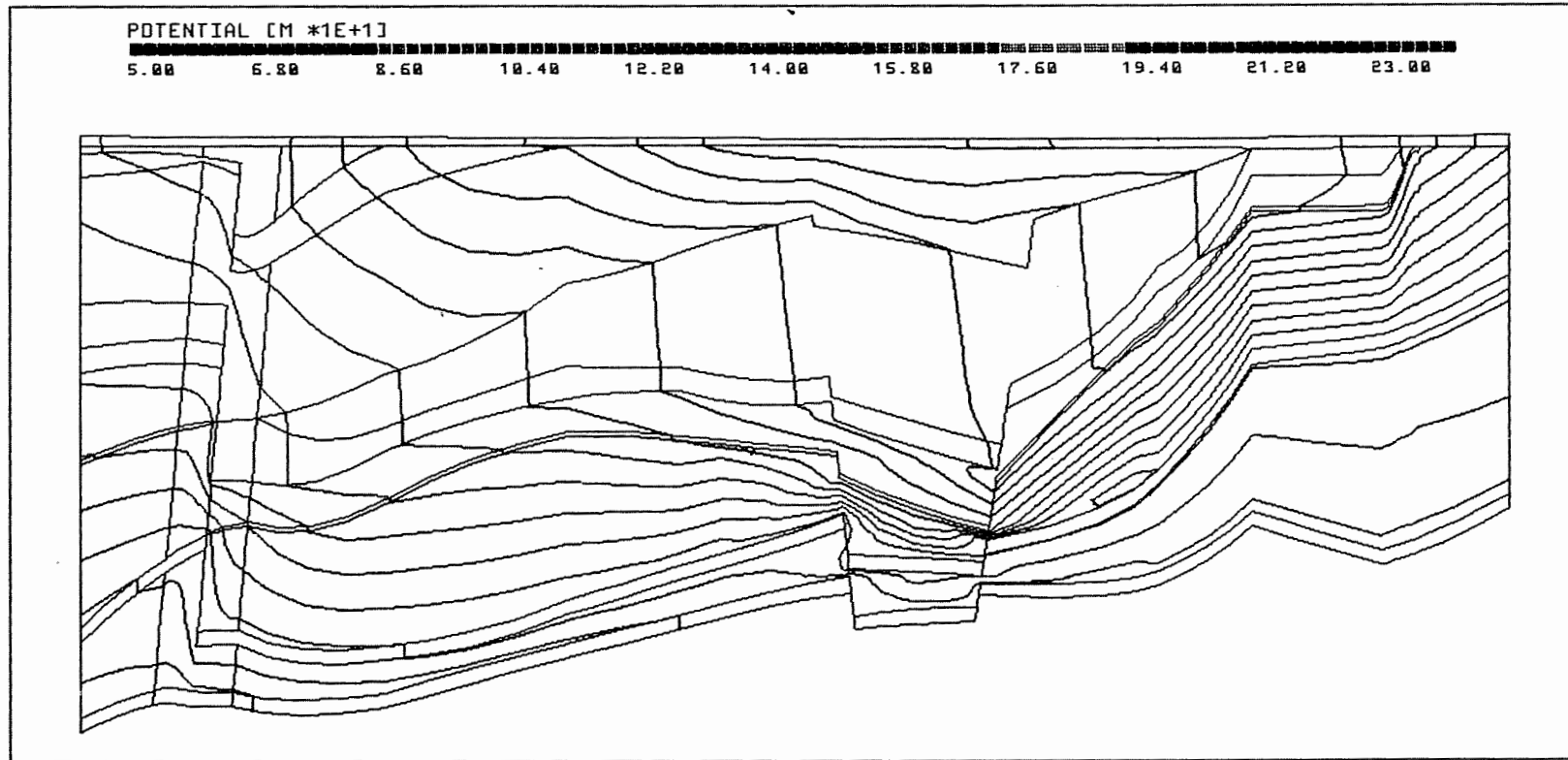
Anh. C2.1.7 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 7

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL PTB\_R02.RES 96/0



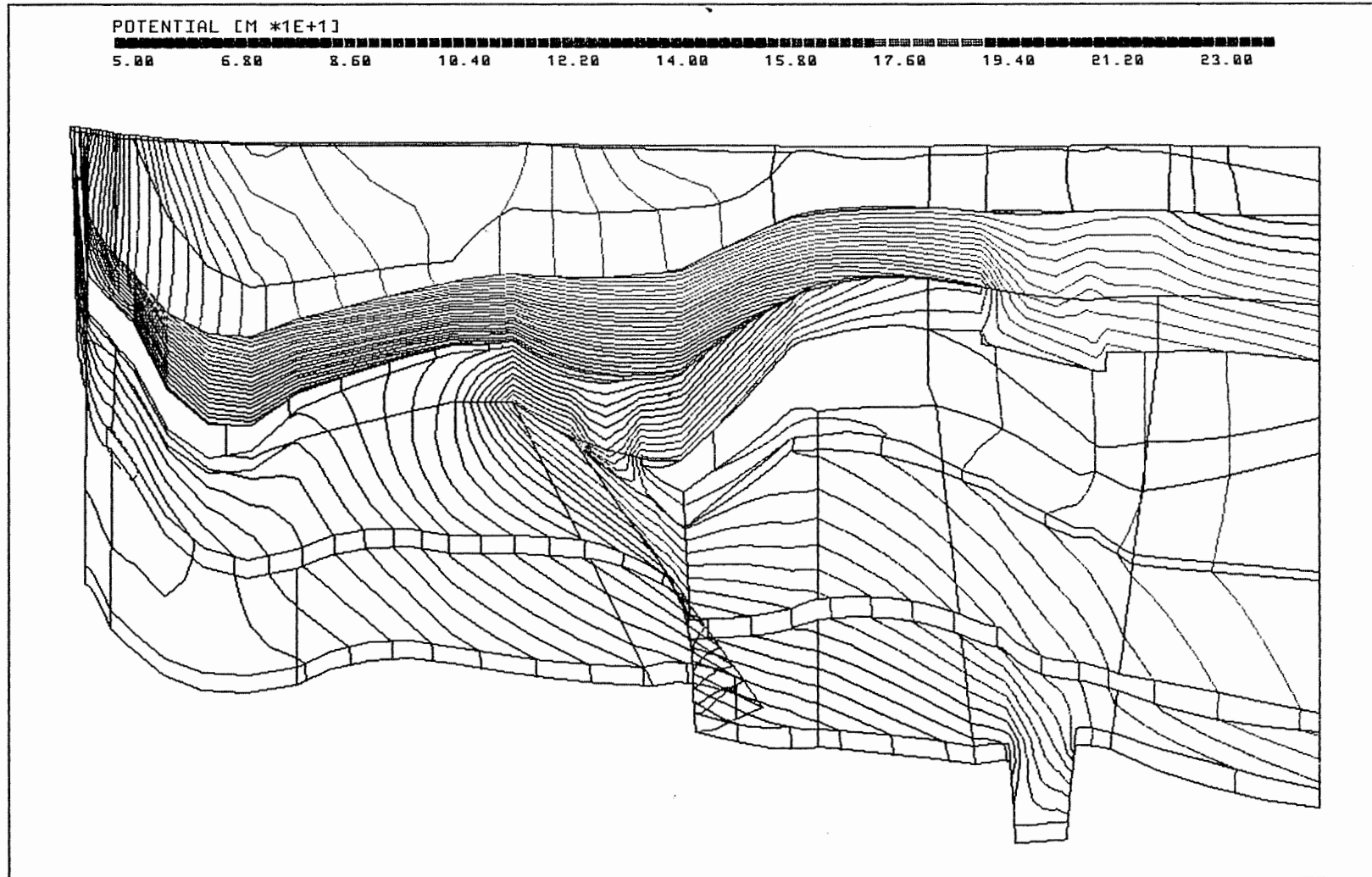
Anh. C2.1.8 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 8-9

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT10.EL PTB\_R02.RES 141/0



Anh. C2.1.9 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 10

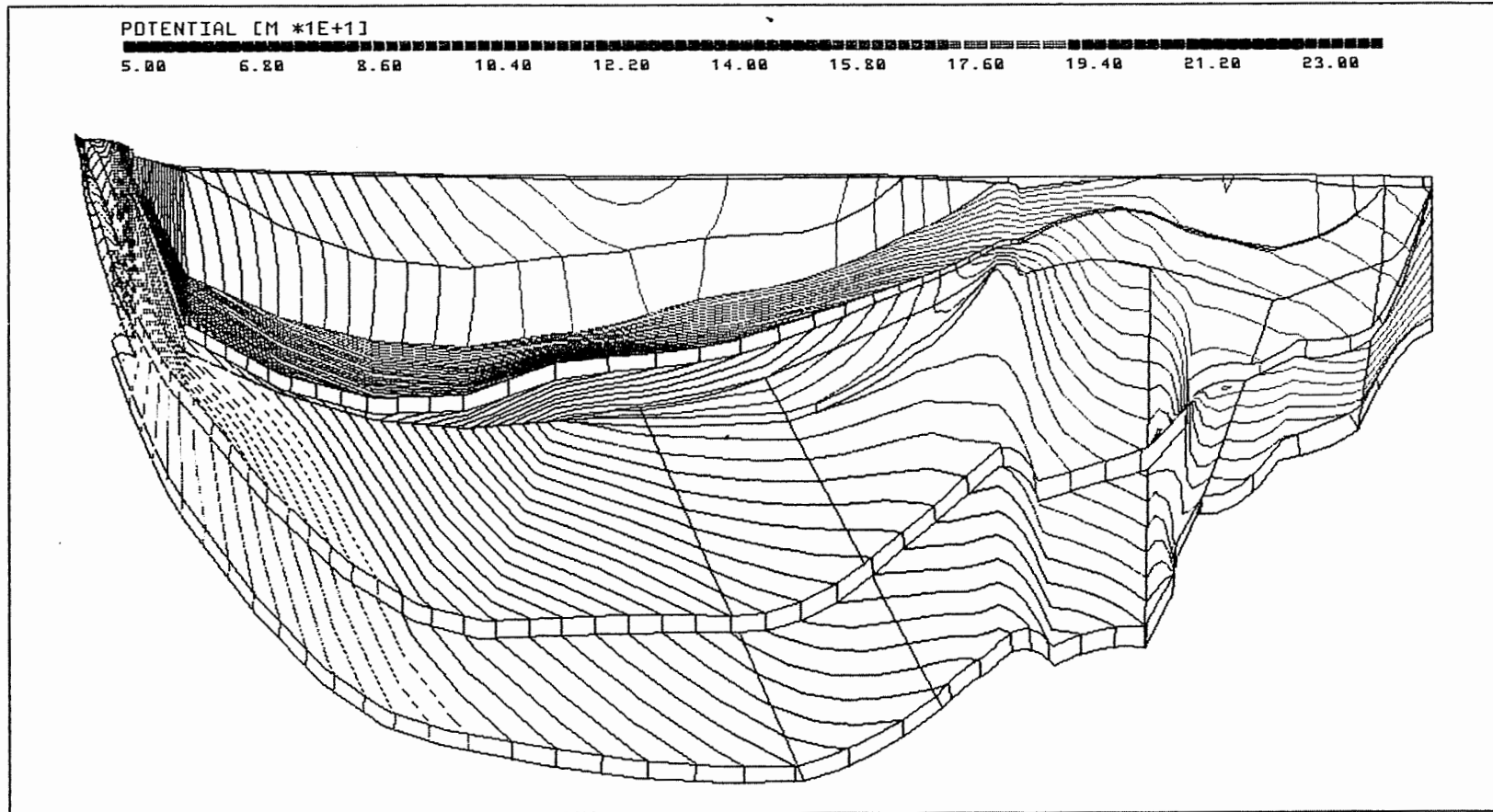
PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT12.EL PTB\_R02.RES 111/0



Anh. C2.1.10 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 12

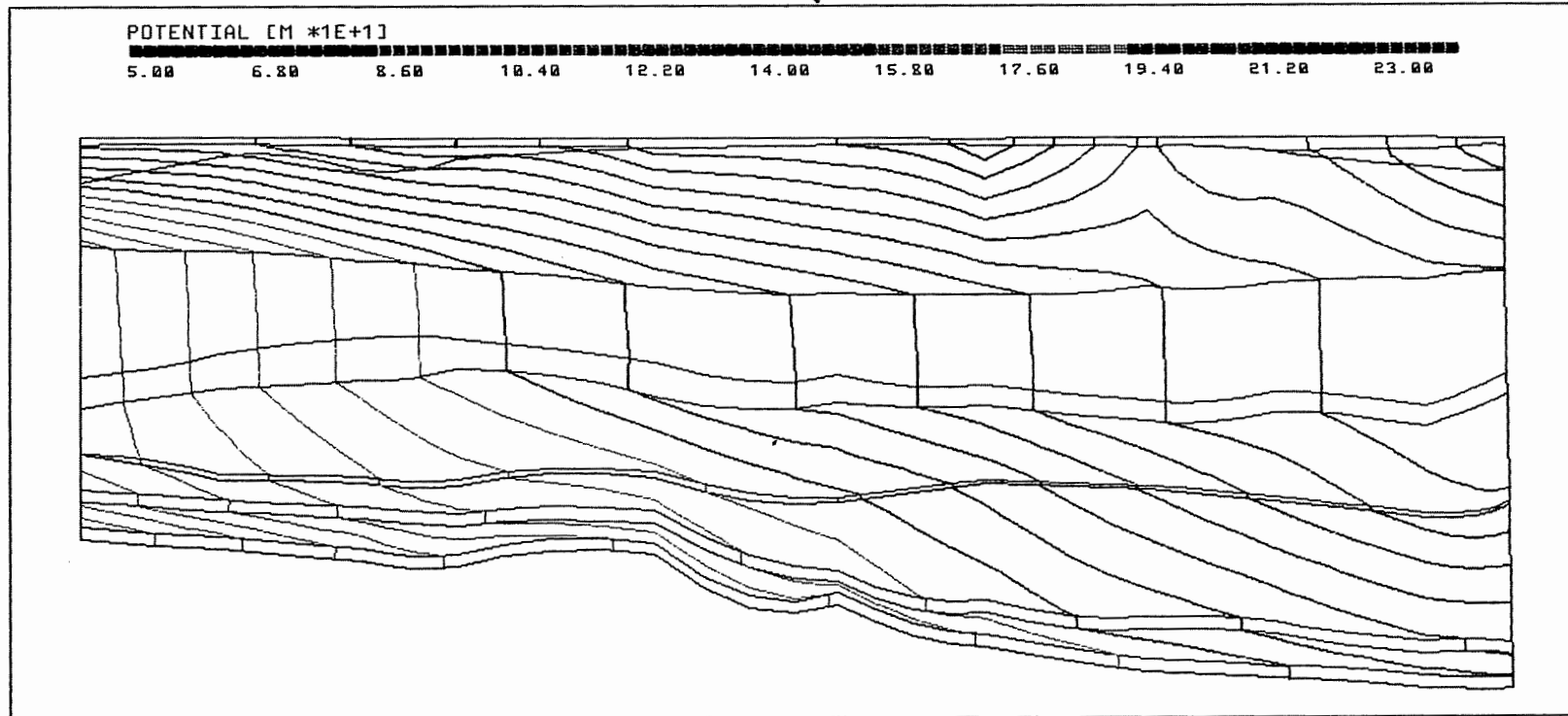


PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT13.EL PTB\_R02.RES 125/0



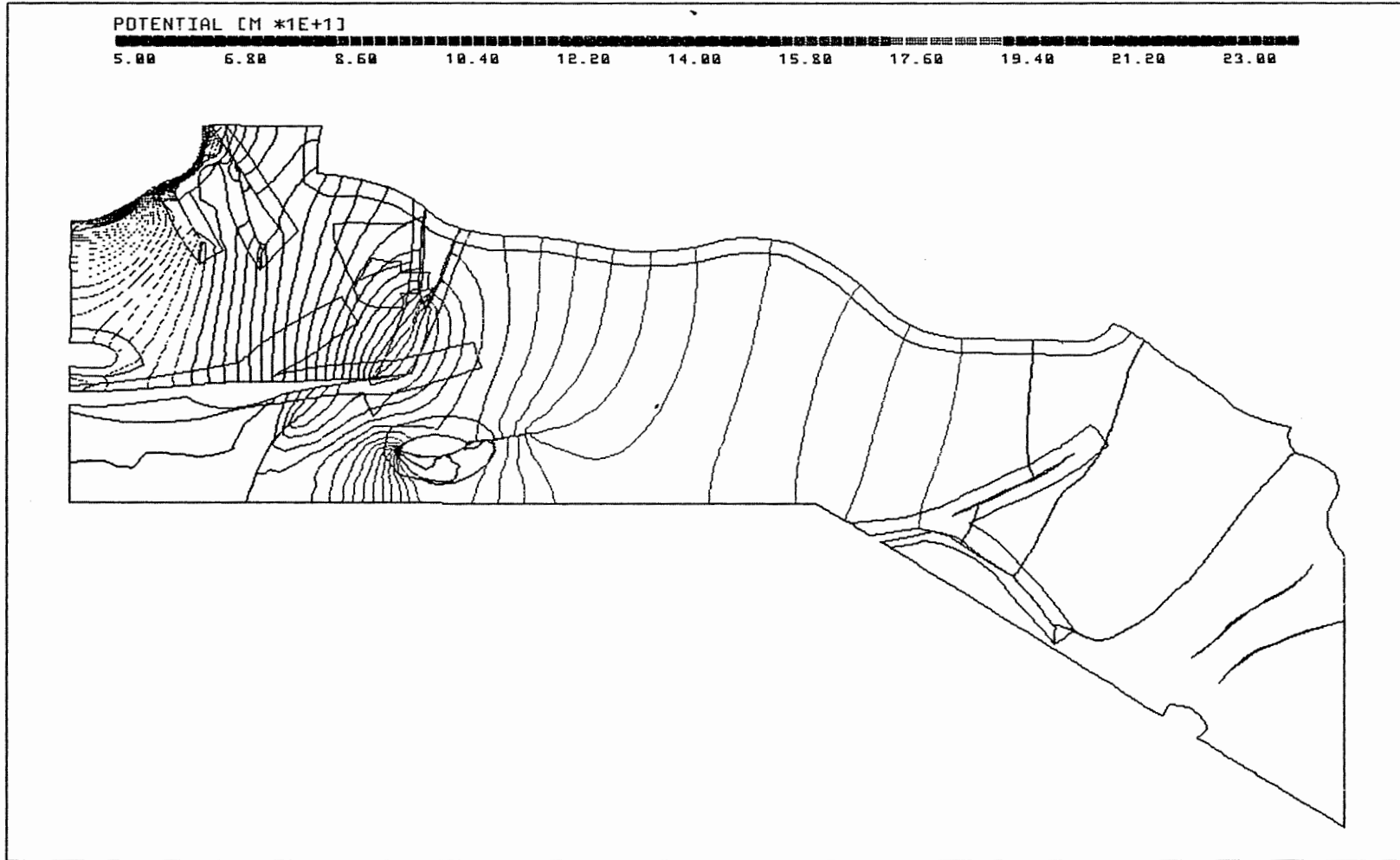
Anh. C2.1.11 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 13

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT14.EL PTB\_R02.RES 102/0



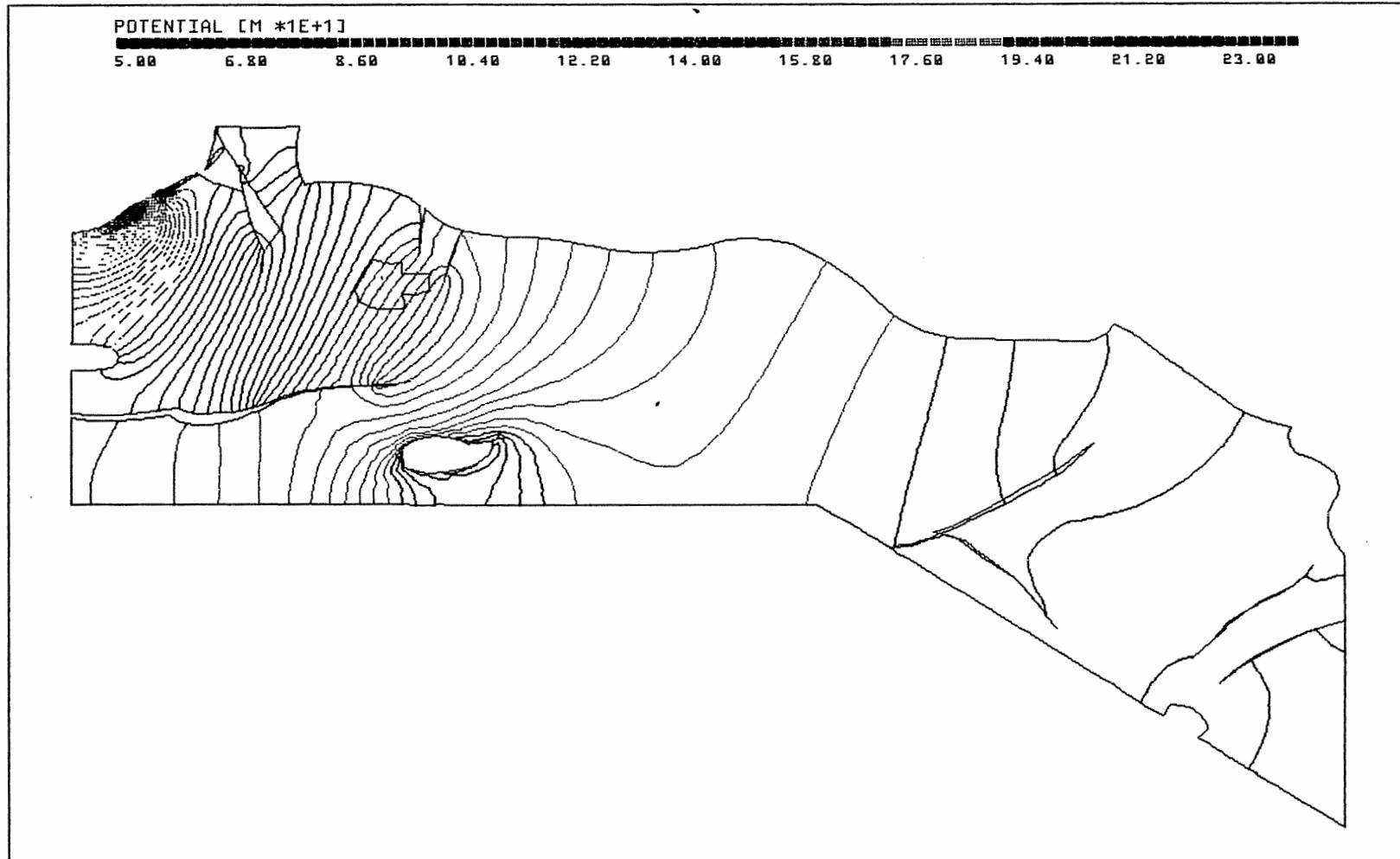
Anh. C2.1.12 Rechenfall R02: Potentiale im Schnitt 14

PTB.XYZ MO\_BOT.EL PTB\_R02.RES 90/90



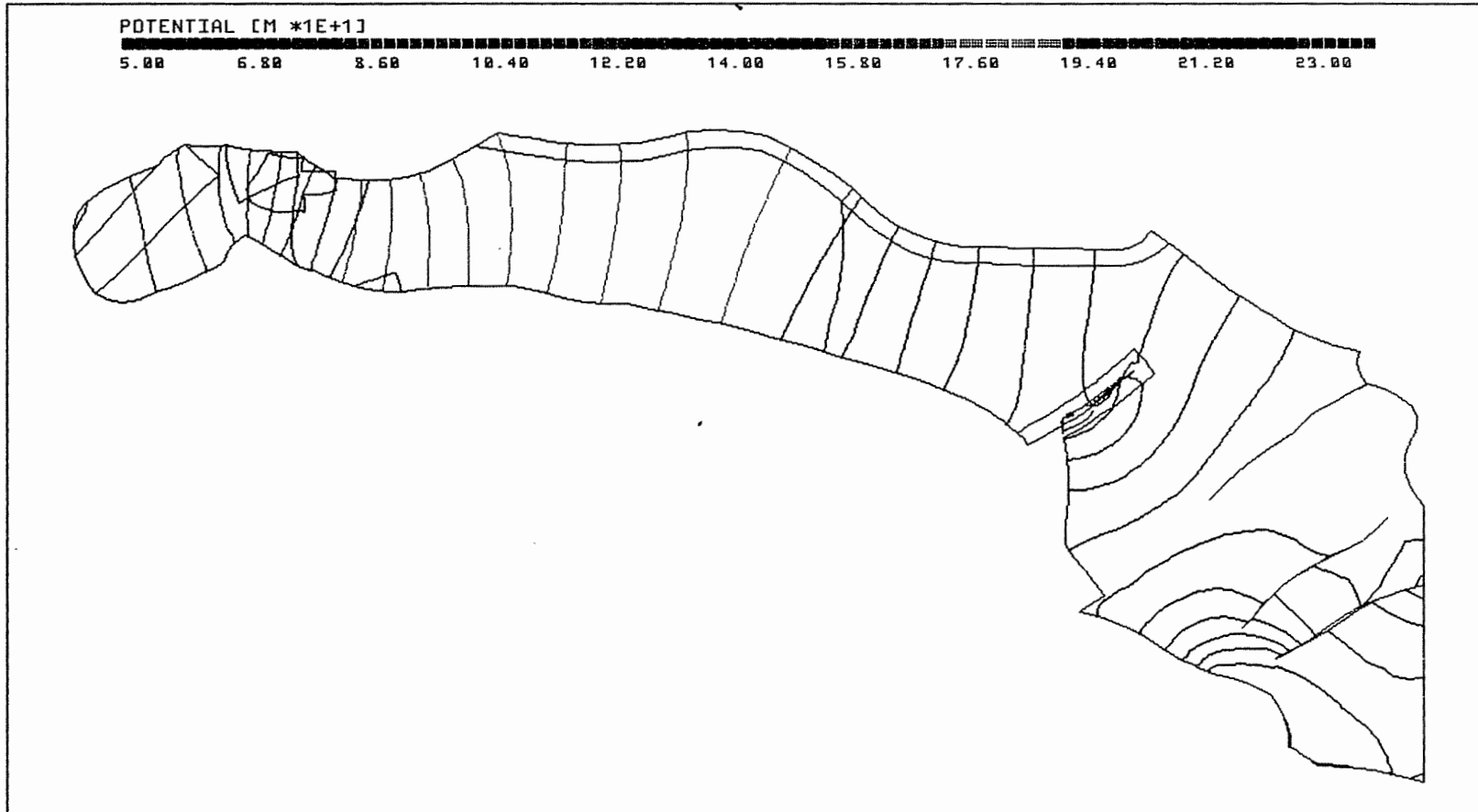
Anh. C2.2.1 Rechenfall R02: Potentiale an der Basis des Oberen Muschelkalks

PTB.XYZ KO\_BOT.EL PTB\_R02.RES 90/90



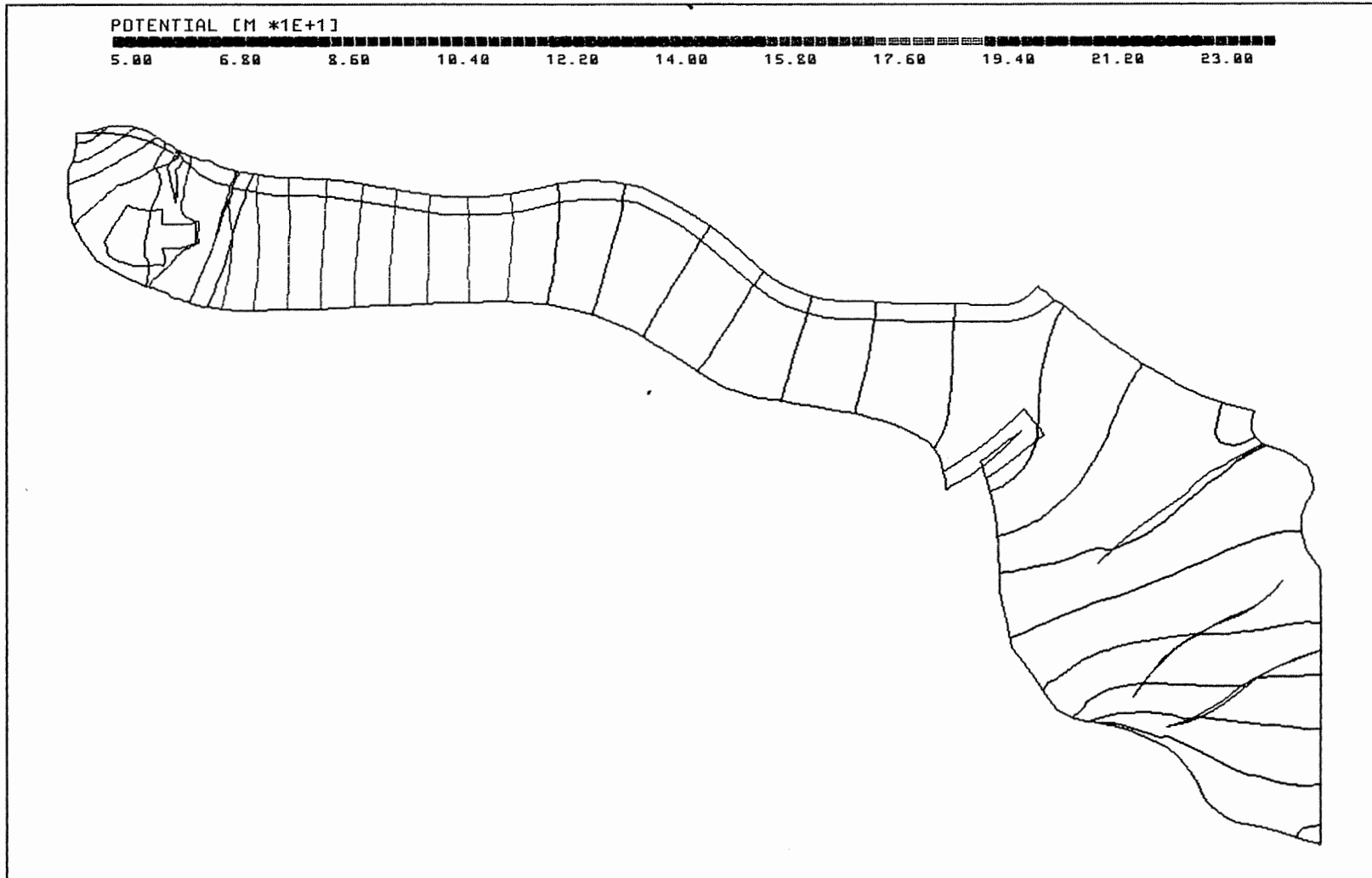
Anh. C2.2.2 Rechenfall R02: Potentiale an der Basis des Rhät

P.TB.XYZ C\_BOT.EL PTB\_R02.RES 90/90



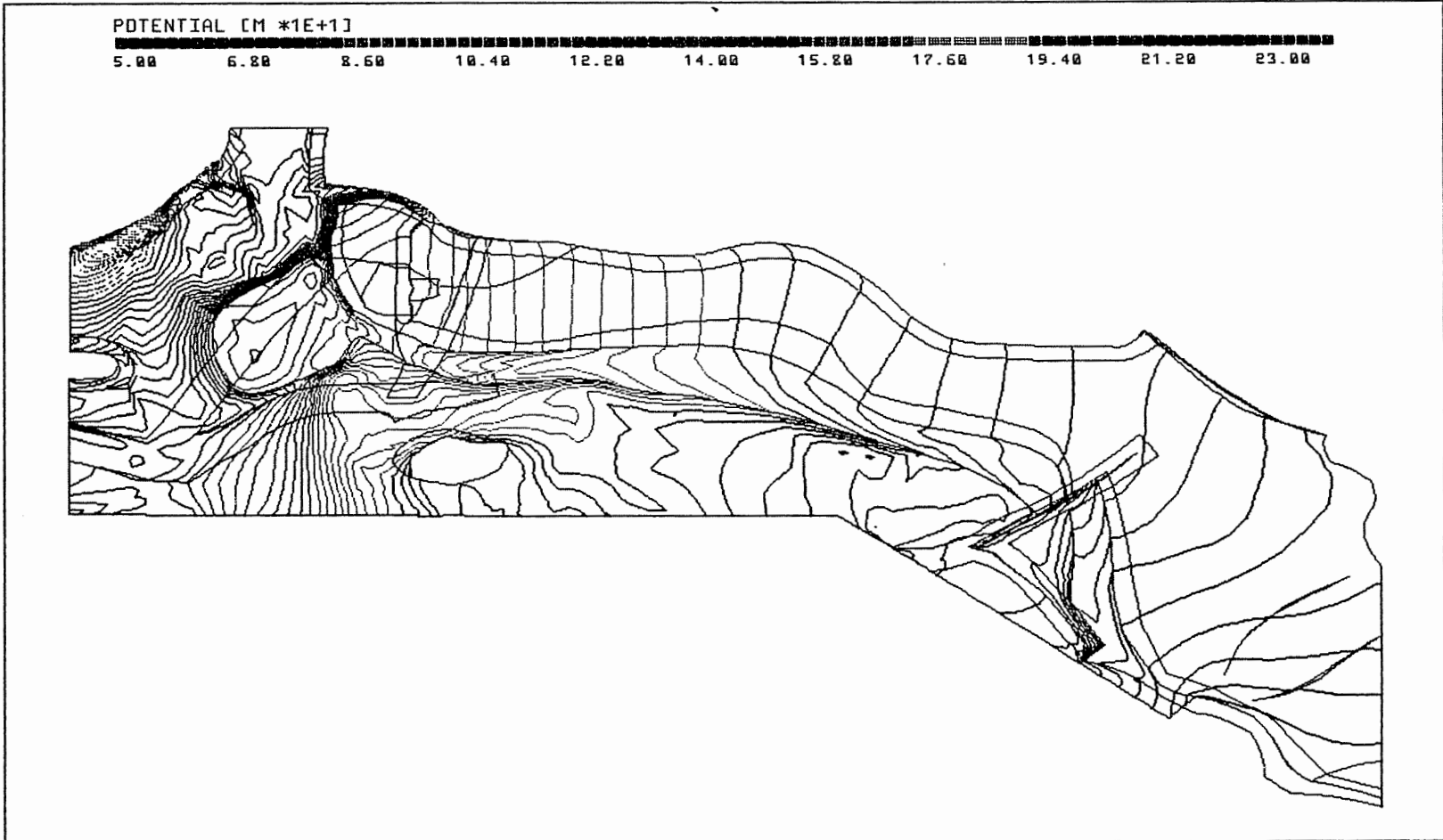
Anh. C2.2.3 Rechenfall R02: Potentiale an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ OX\_BOT.EL PTB\_R02.RES 90/90



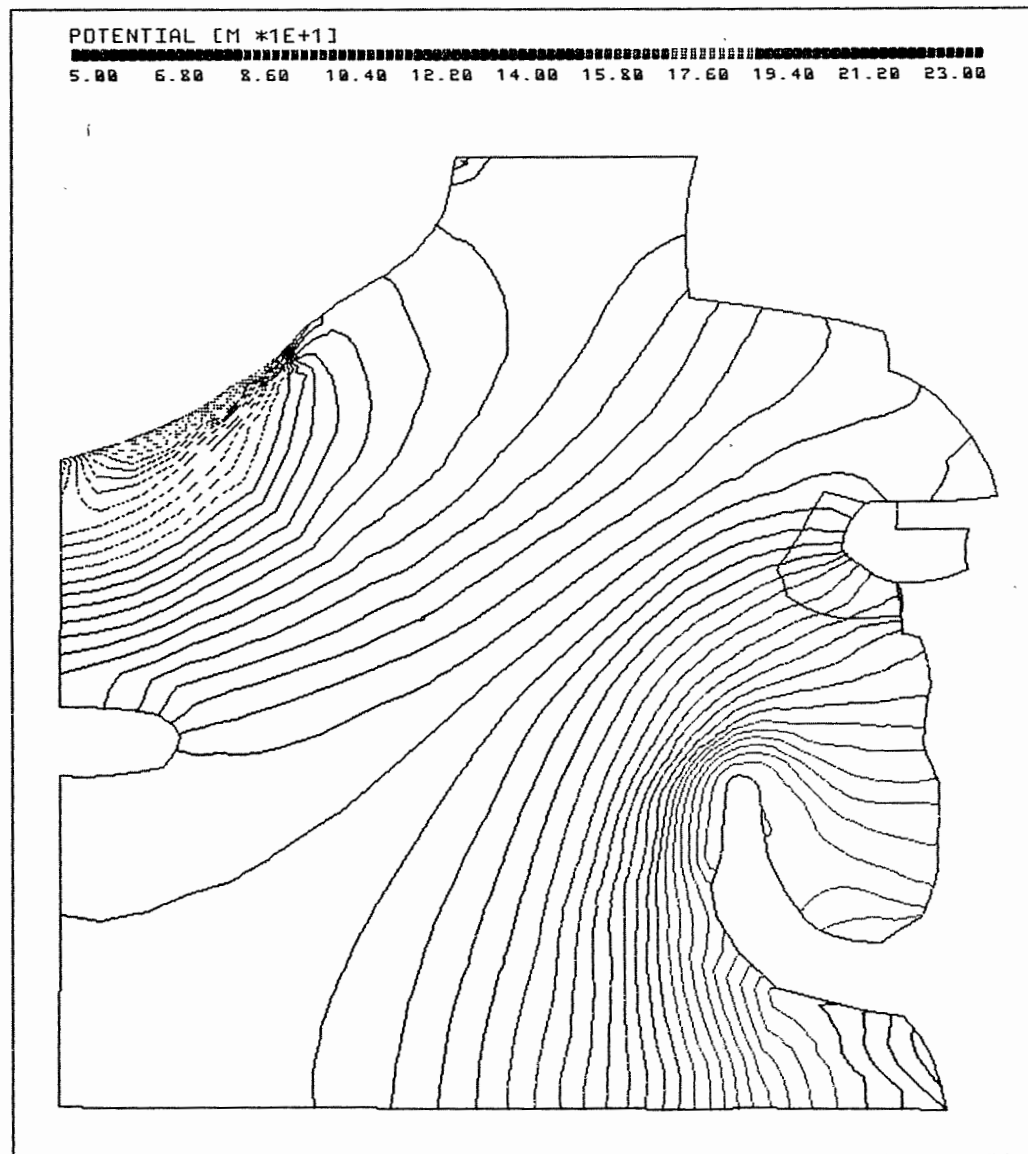
Anh. C2.2.4 Rechenfall R02: Potentiale an des Basis des Oxford

PTB.XYZ KRU\_BOT.EL PTB\_R02.RES 90/90



Anh. C2.2.5 Rechenfall R02: Potentiale an der Basis der Unterkreide

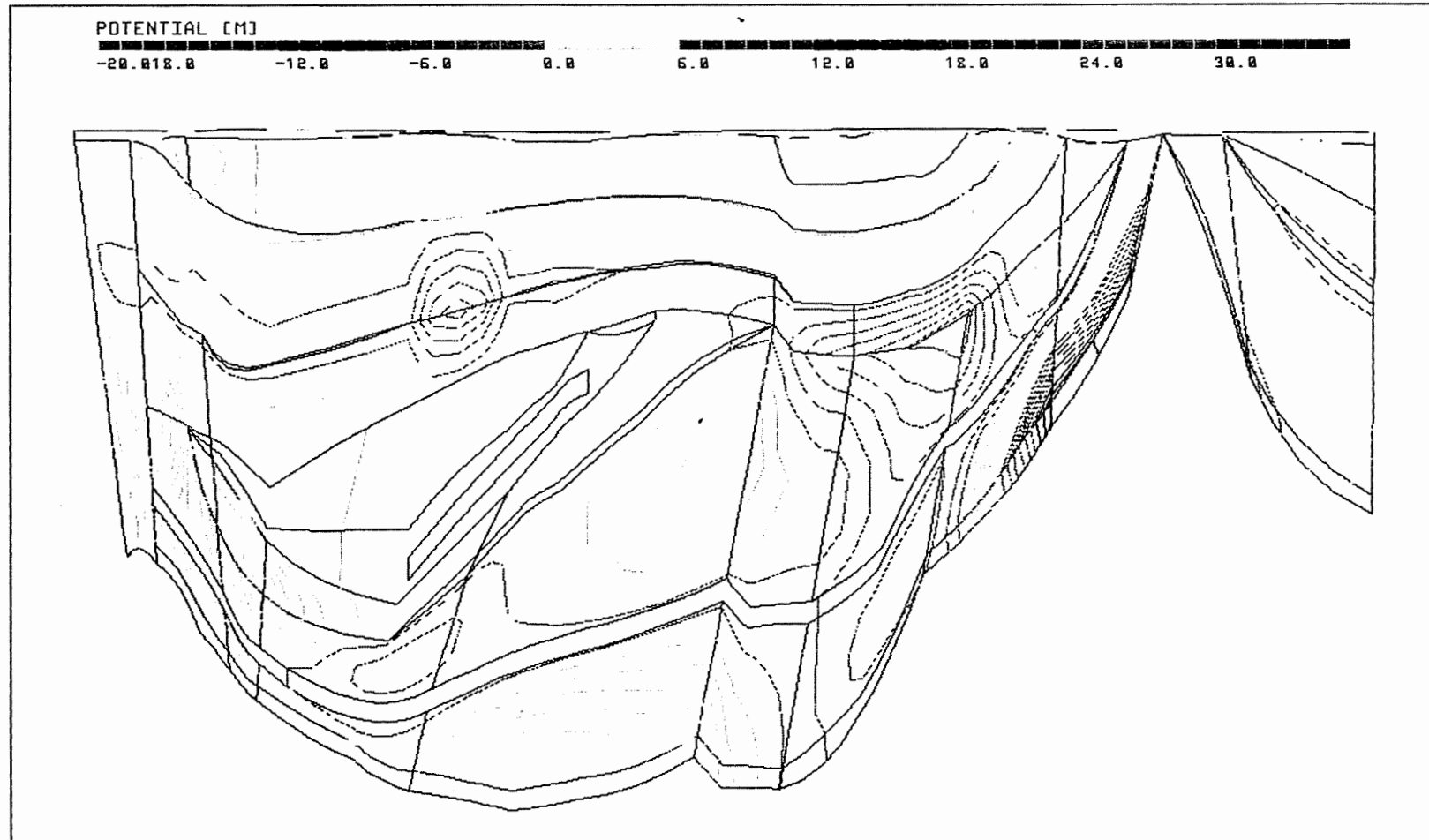
PTB.XYZ HL\_BOT.EL PTB\_R02.RES 90/90



Anh. C2.2.6 Rechenfall R02: Potentiale an der Basis des Hilssandsteins

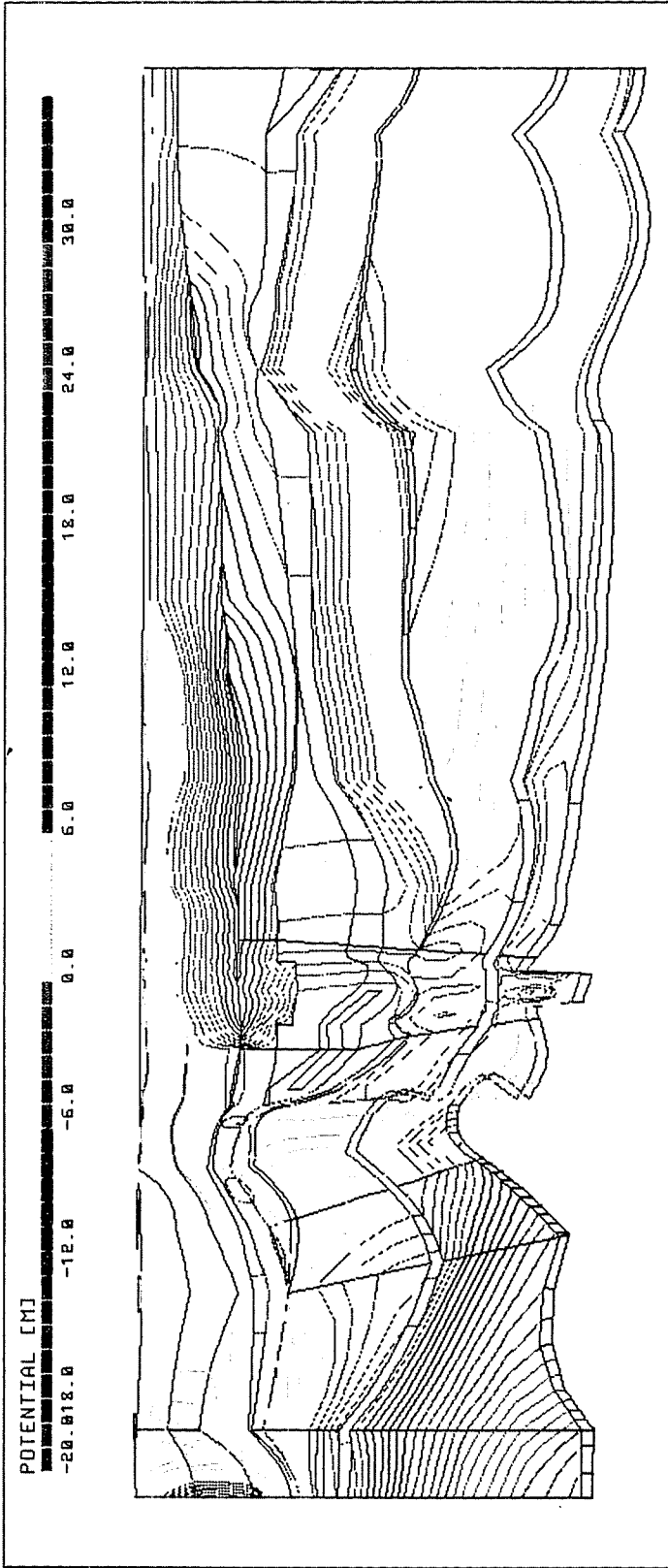


PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL R02-R01.DIF 177/0



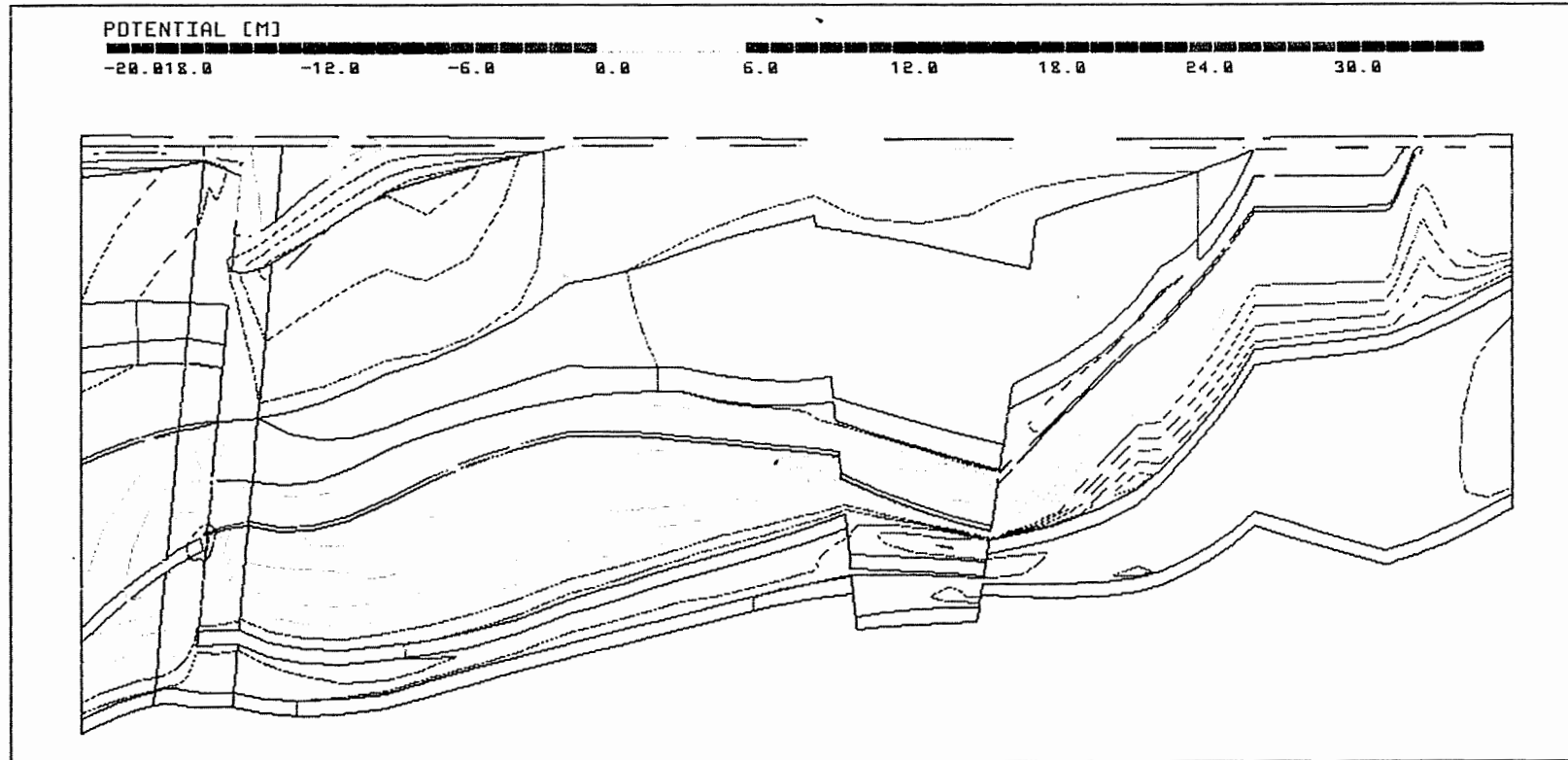
Anh. C2.3.1 Rechenfall R02: Potentialunterschiede R02-R01,  
Schnitt 4

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL R02-R01.DIF 96/0



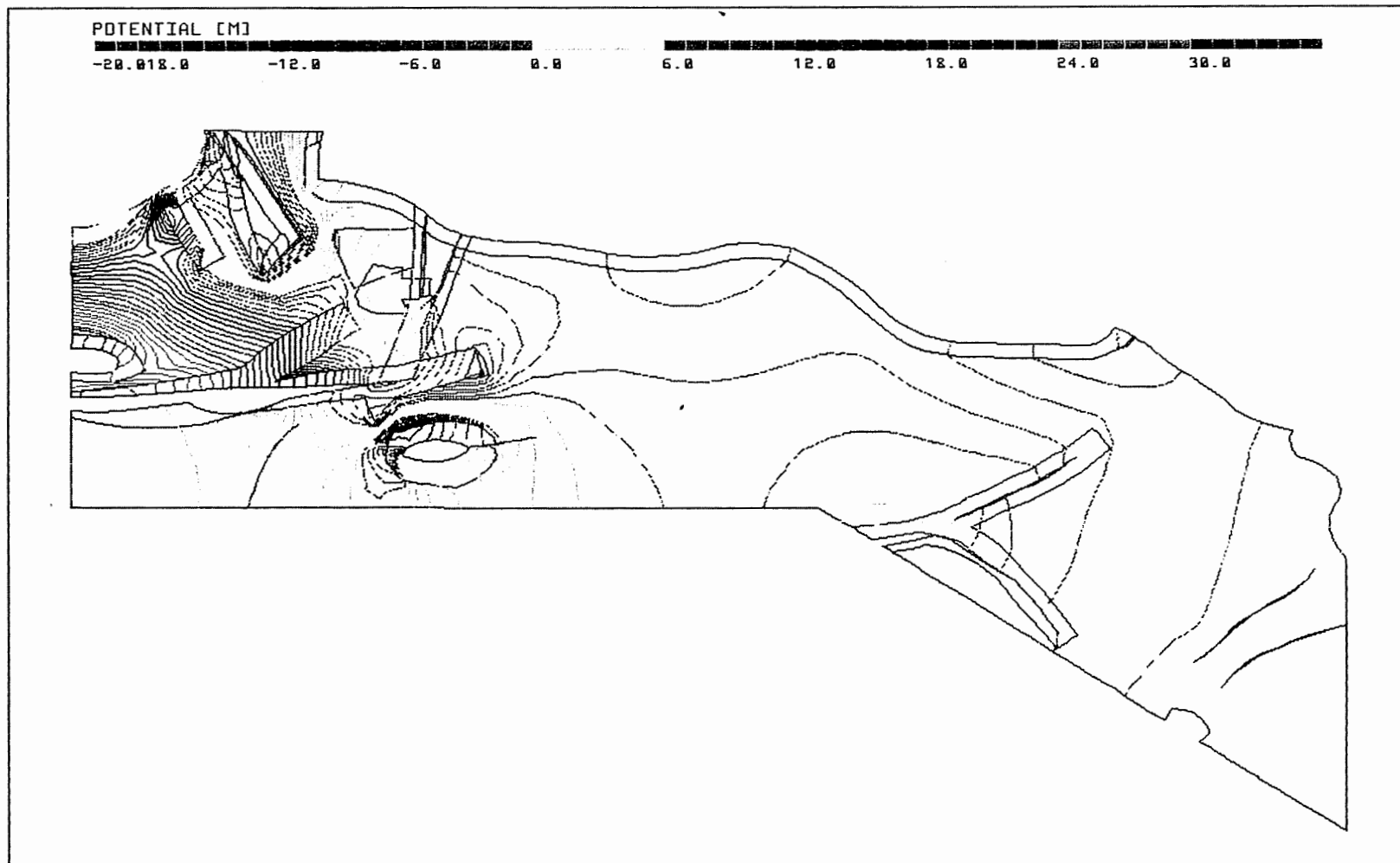
Anh. C2.3.2 Rechenfall R02: Potentialunterschiede R02-R01, Schnitt 8-9

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT10.EL R02-R01.DIF 141/0



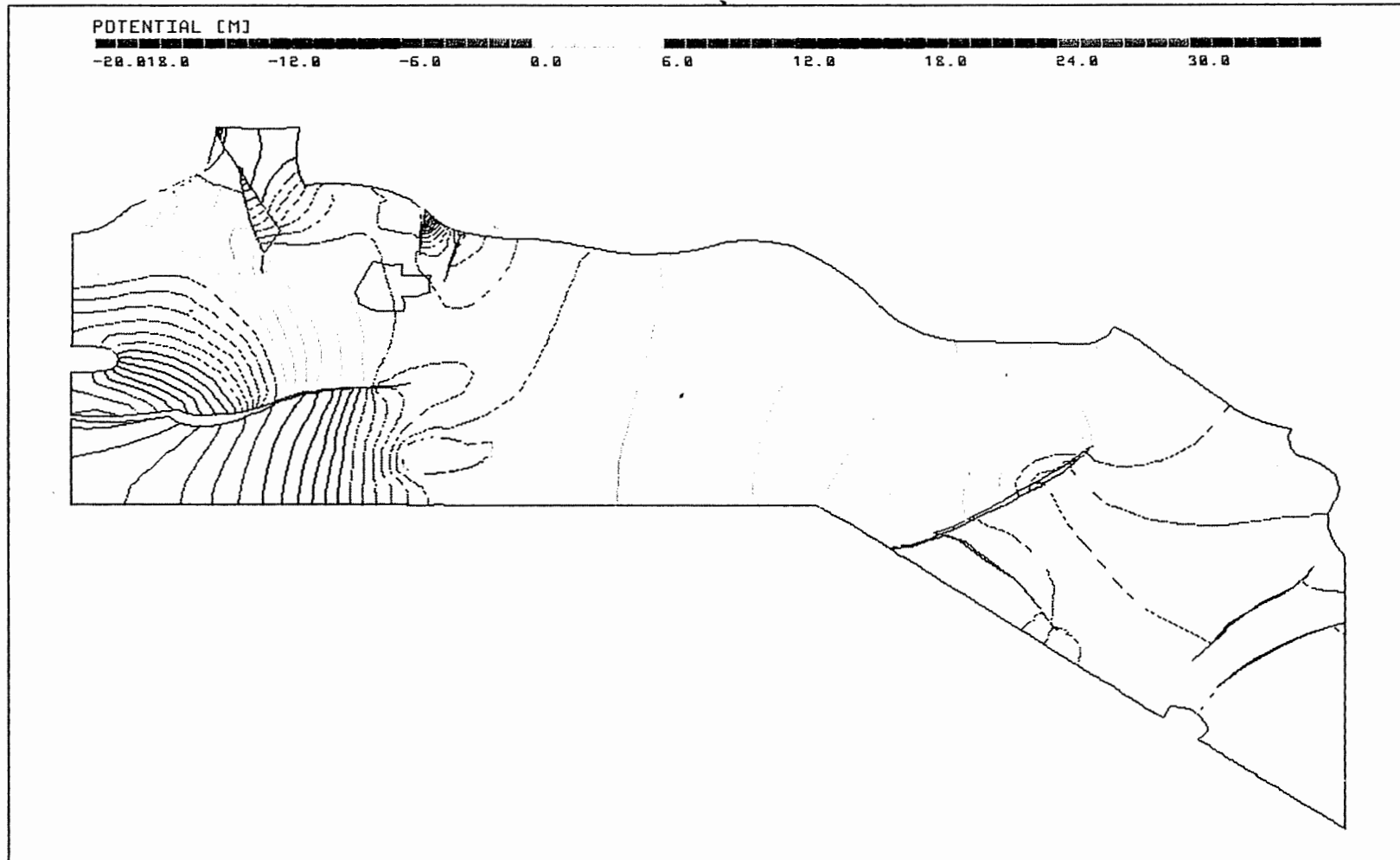
Anh. C2.3.3 Rechenfall R02: Potentialunterschiede R02-R01,  
Schnitt 10

PTB.XYZ MO\_BOT.EL R02-R01.DIF 90/90



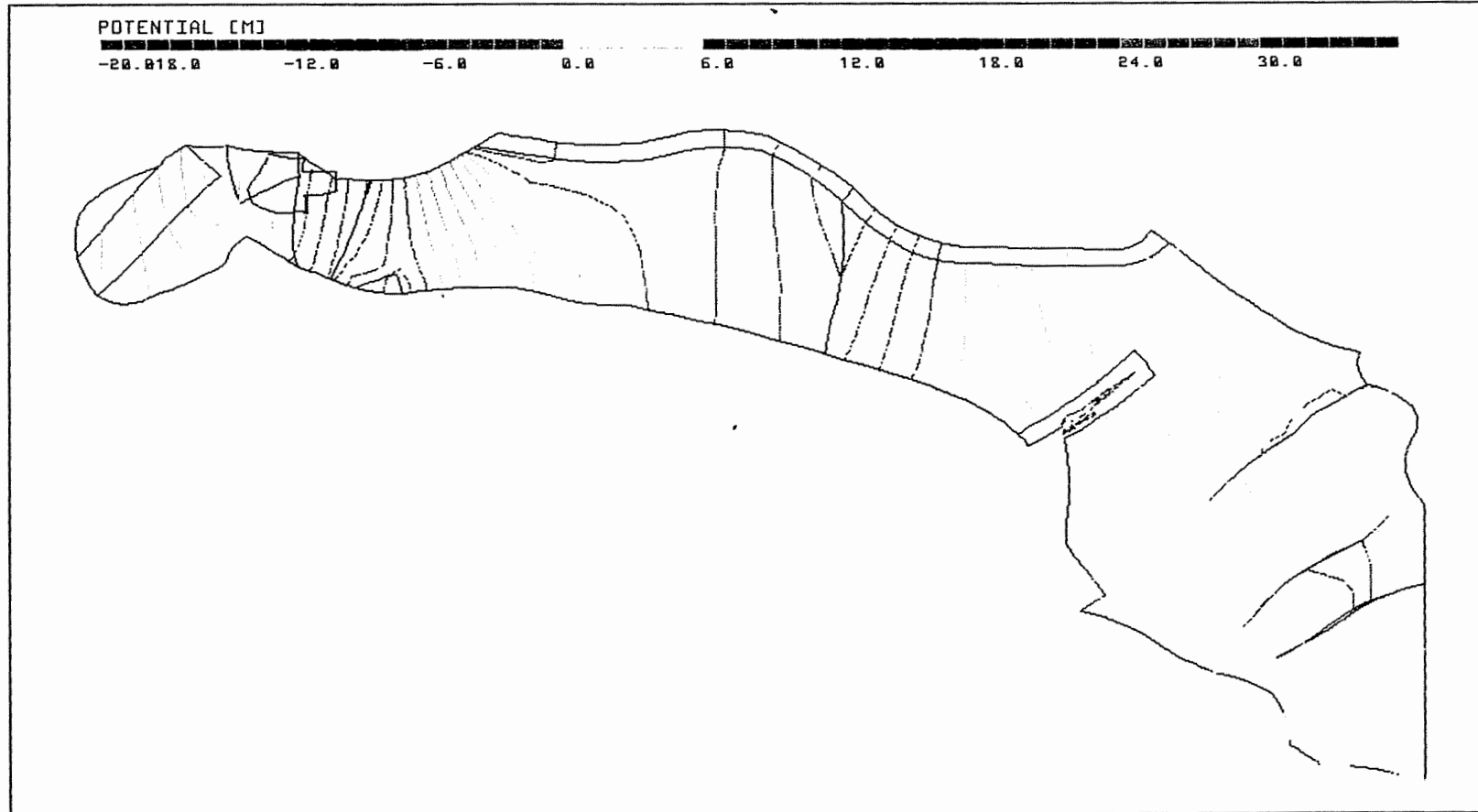
Anh. C2.4.1 Rechenfall R02: Potentialunterschiede R02-R01  
an der Basis des Oberen Muschelkalkes

PTB.XYZ KO\_BOT.EL R02-R01.DIF 90/90



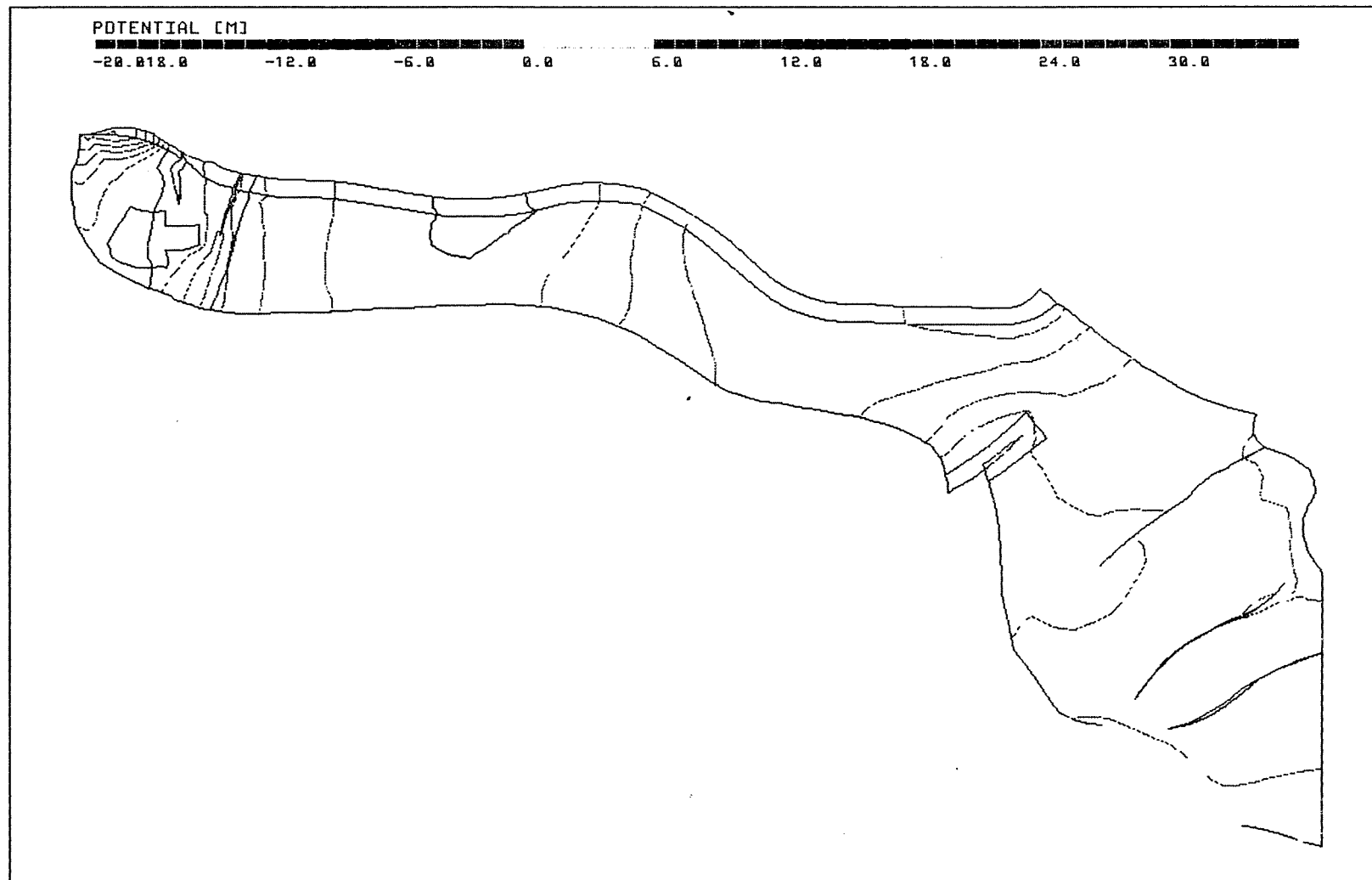
Anh. C2.4.2 Rechenfall R02: Potentialunterschiede R02-R01  
an der Basis des Rhät

PTB.XYZ C\_BOT.EL R02-R01.DIF 90/90



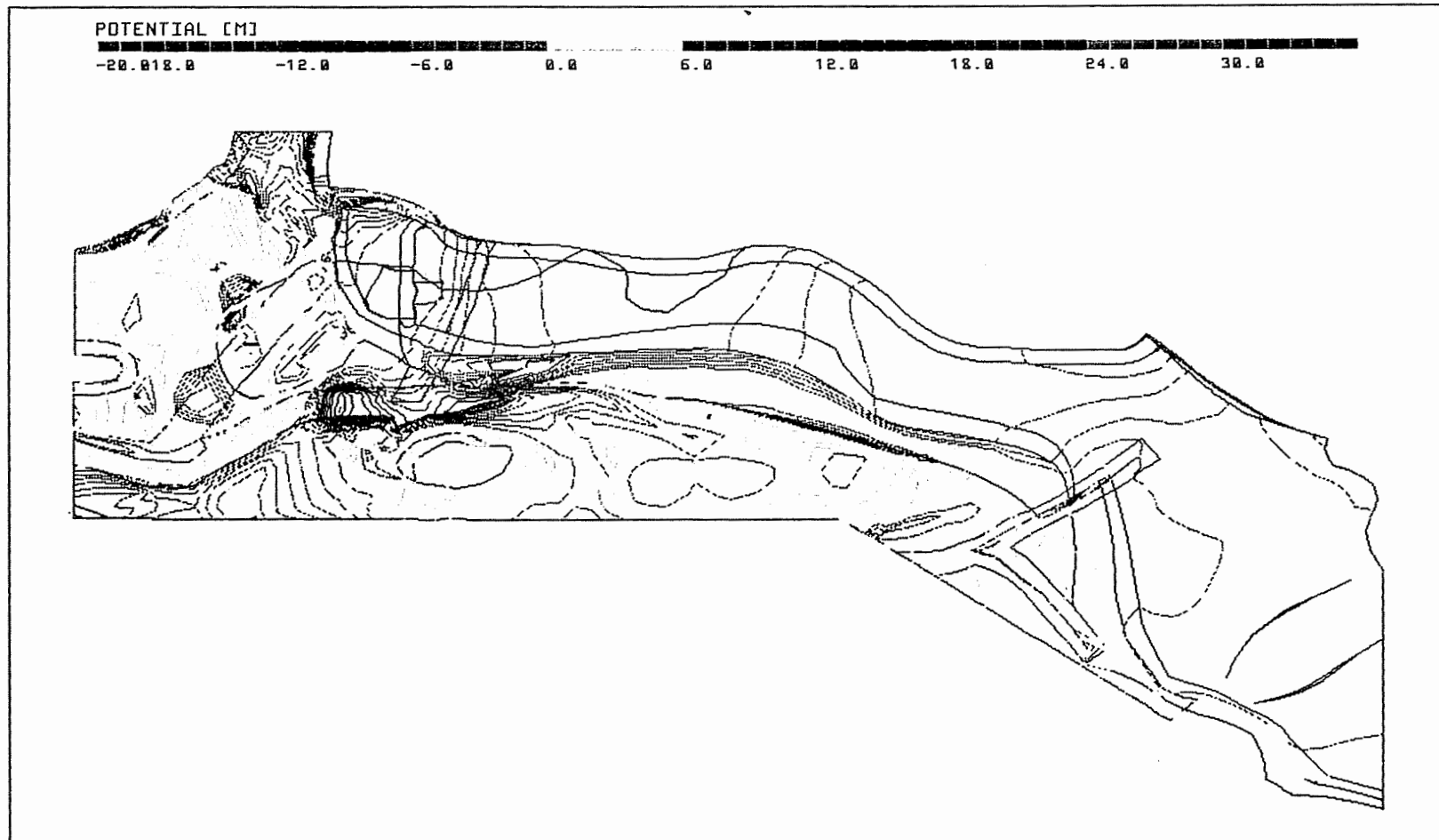
Anh. C2.4.3 Rechenfall R02: Potentialunterschiede R02-R01  
an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ OX\_BOT.EL R02-R01.DIF 90/90



Anh. C2.4.4 Rechenfall R02: Potentialunterschiede R02-R01  
an der Basis des Oxford

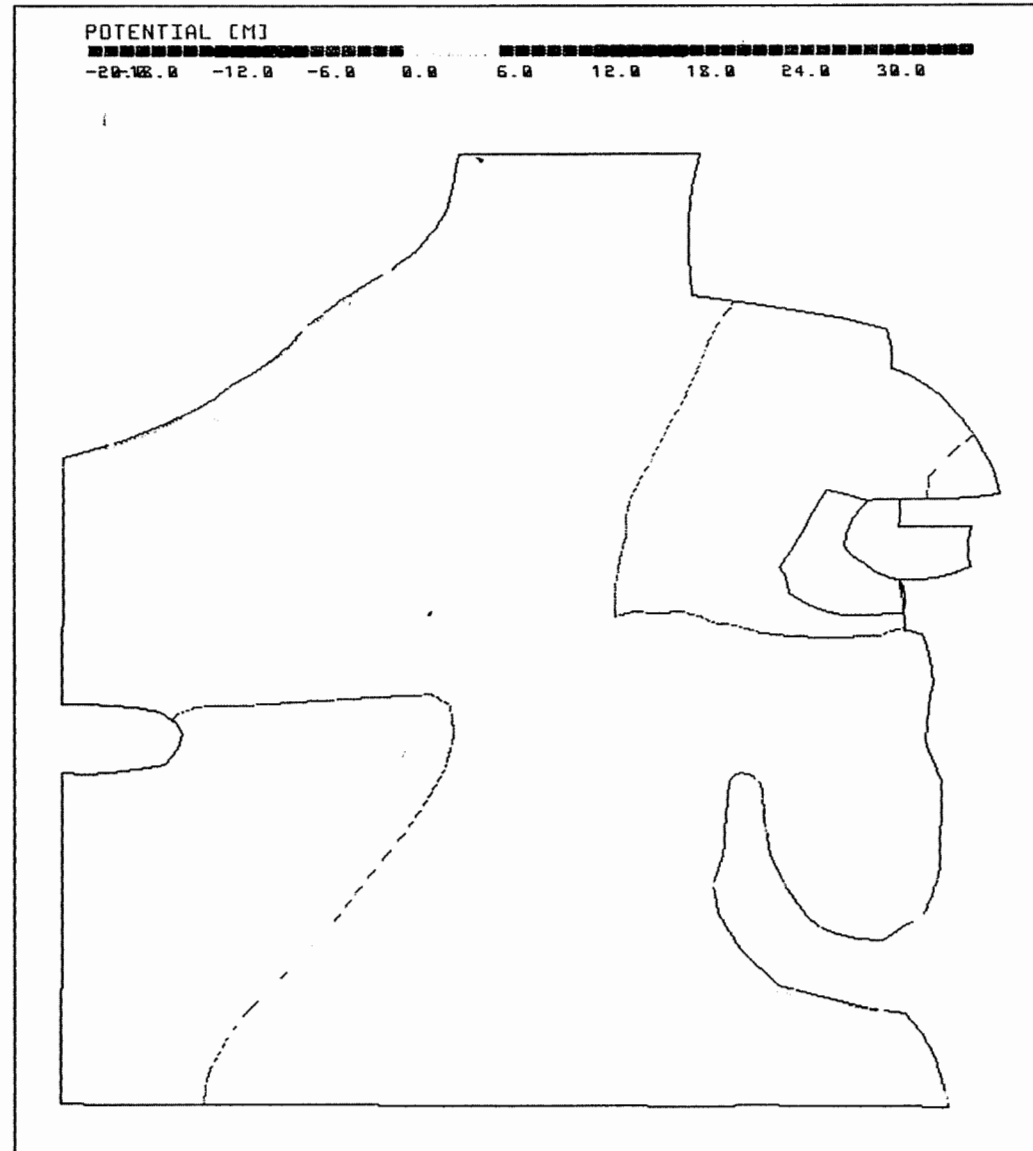
PTB,XYZ KRU\_BOT.EL R02-R01.DIF 90/90



Anh. C2.4.5 Rechenfall R02: Potentialunterschiede R02-R01  
an der Basis der Unterkreide

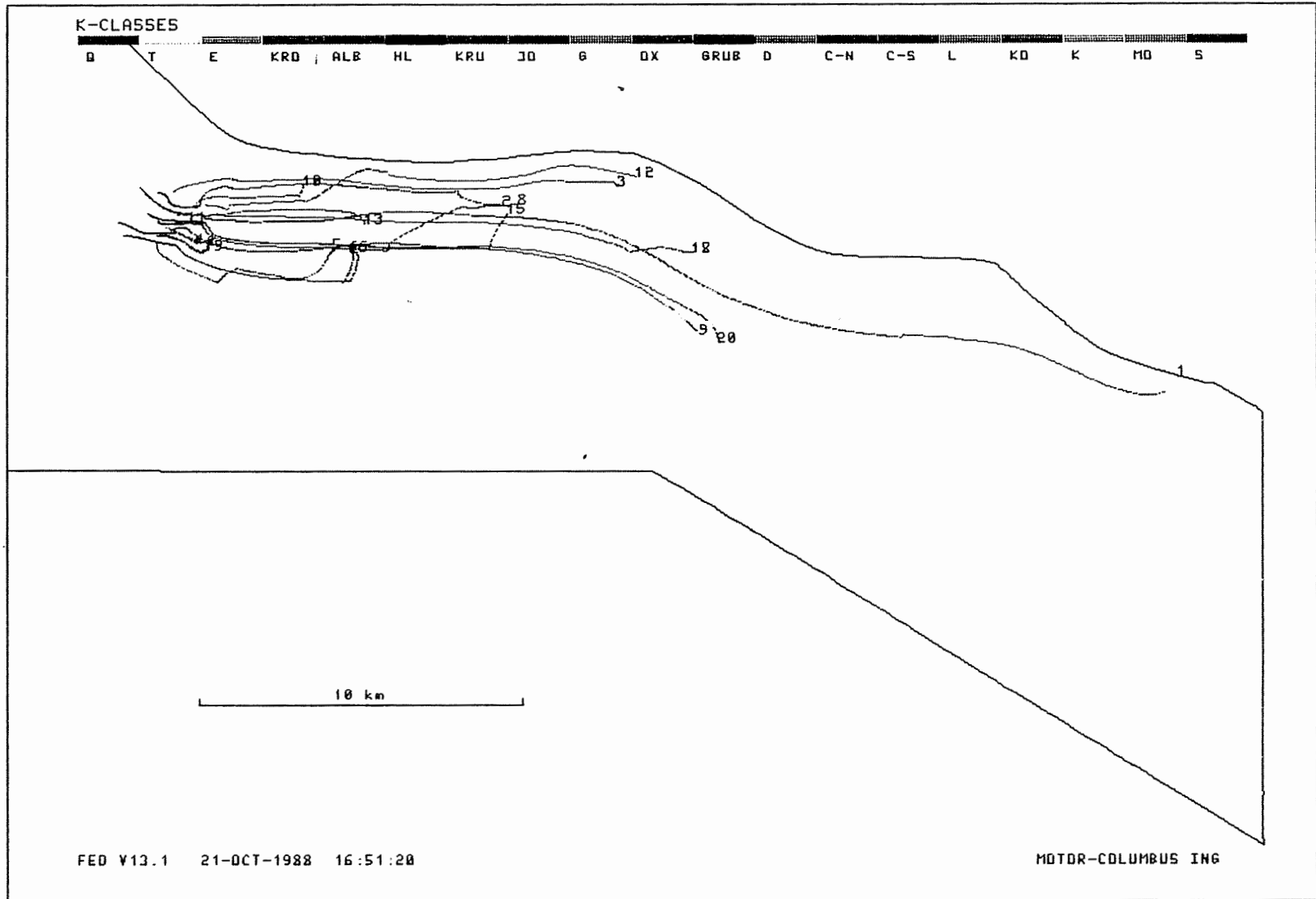


PTB.XYZ HL\_BOT.EL R02-R01.DIF 90/90



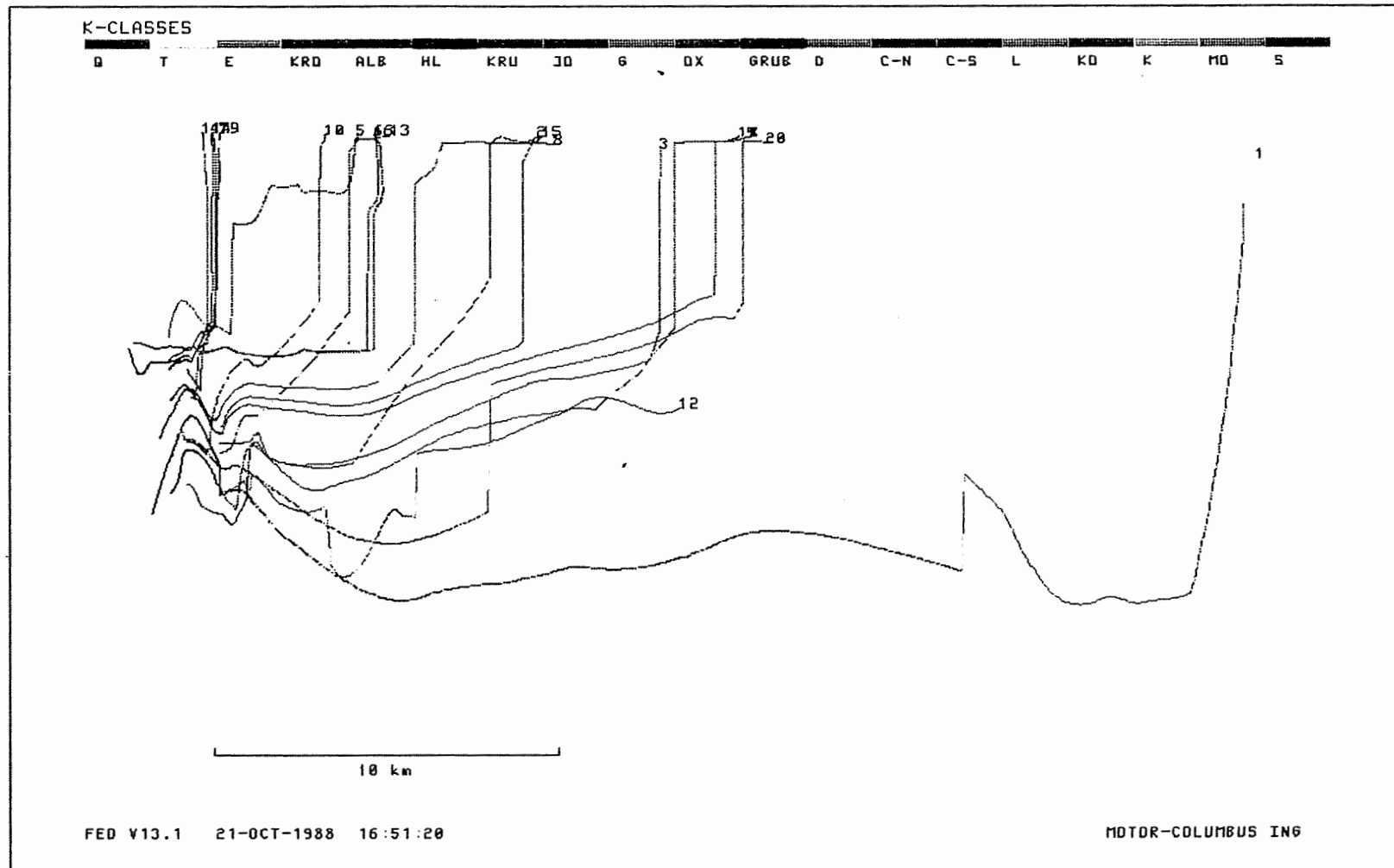
Anh. C2.4.6 Rechenfall R02: Potentialunterschiede R02-R01  
an der Basis des Hilssandsteins

R02: FLIESSWEGE (GRUNDRISS)



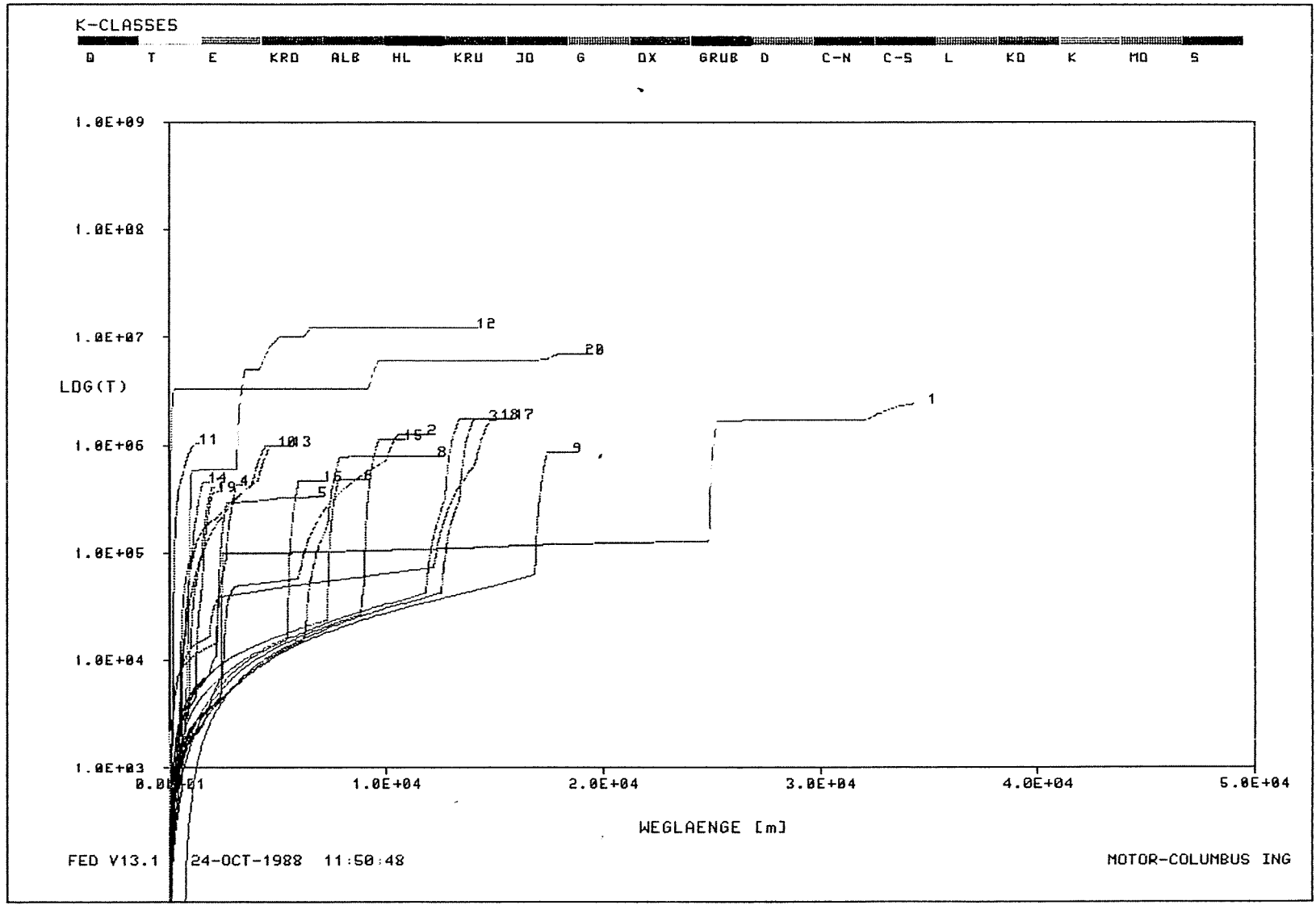
Anh. C2.5.1 Rechenfall R02: Fließwege im Grundriss

R02: FLIESSWEGE (AUFRISS, 8-FACH UEBERHOEHT)



Anh. C2.5.2 Rechenfall R02: Fließwege im Aufriss

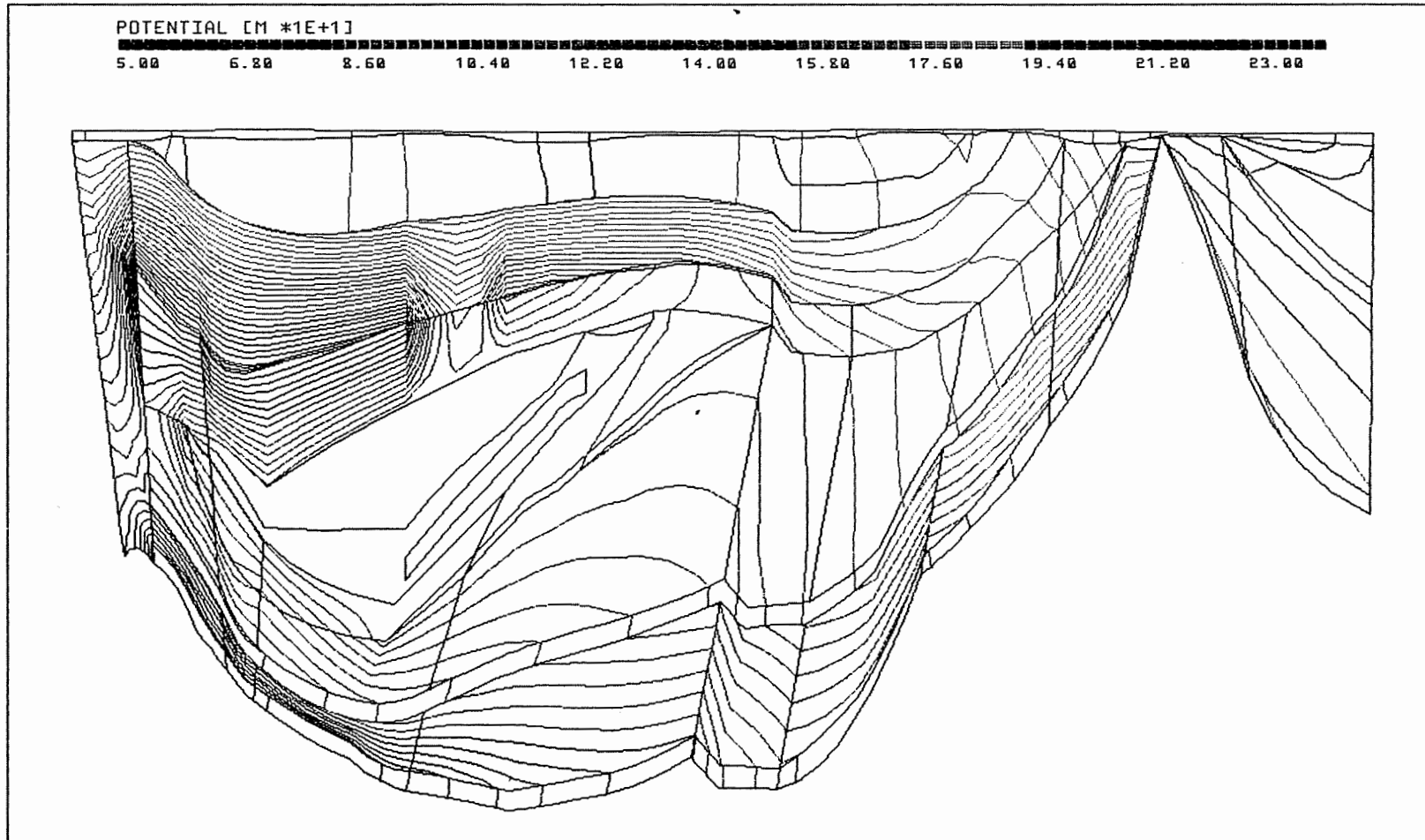
R02: WEG-ZEIT-DIAGRAMM DER FIESSWEGE



Anh. C2.5.3 Rechenfall R02: Weg-Zeit-Diagramm der Fließwege  
(Zeit im logarithmischen Massstab)

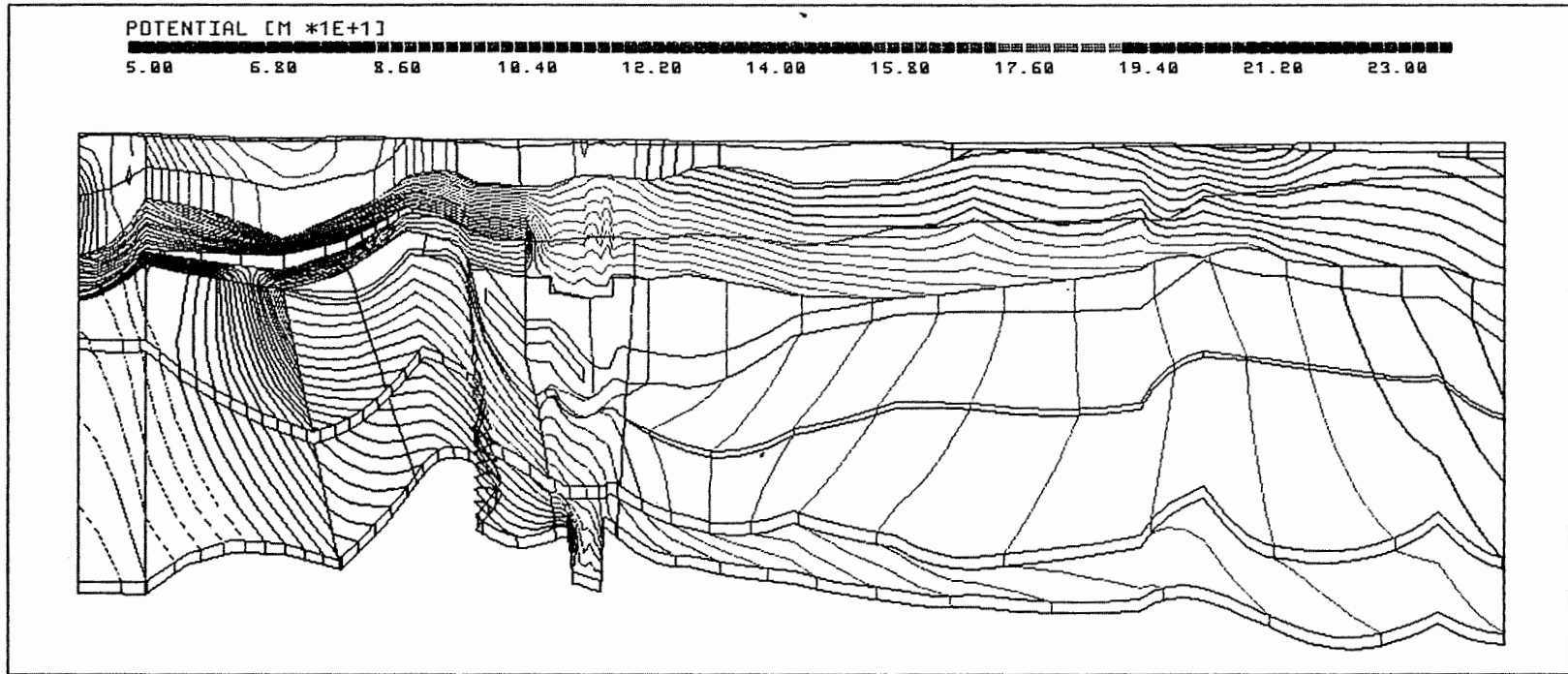
- 3                   **Rechenfall R03**
- 3.1               Potentiale, Schnitte
- 3.1.1            Schnitt 4
- 3.1.2            Schnitt 8-9
- 3.1.3            Schnitt 10
- 3.1.4            Schnitt 12
  
- 3.2               Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 3.2.1            Basis Cornbrash-Sandstein
- 3.2.2            Basis Oxford
- 3.2.3            Basis Unterkreide
  
- 3.3               Potentialunterschiede R03-R01, Schnitte
- 3.3.1            Schnitt 4
- 3.3.2            Schnitt 8-9
- 3.3.3            Schnitt 10
  
- 3.4               Potentialunterschiede R03-R01, Basisflächen von Schichteinheiten
- 3.4.1            Basis Oberer Muschelkalk
- 3.4.2            Basis Rhät
- 3.4.3            Basis Cornbrash-Sandstein
- 3.4.4            Basis Oxford
- 3.4.5            Basis Unterkreide
- 3.4.6            Basis Hilssandstein
  
- 3.5               Fliesswege
- 3.5.1            Grundriss
- 3.5.2            Aufriss
- 3.5.3            Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL PTB\_R03.RES 177/0



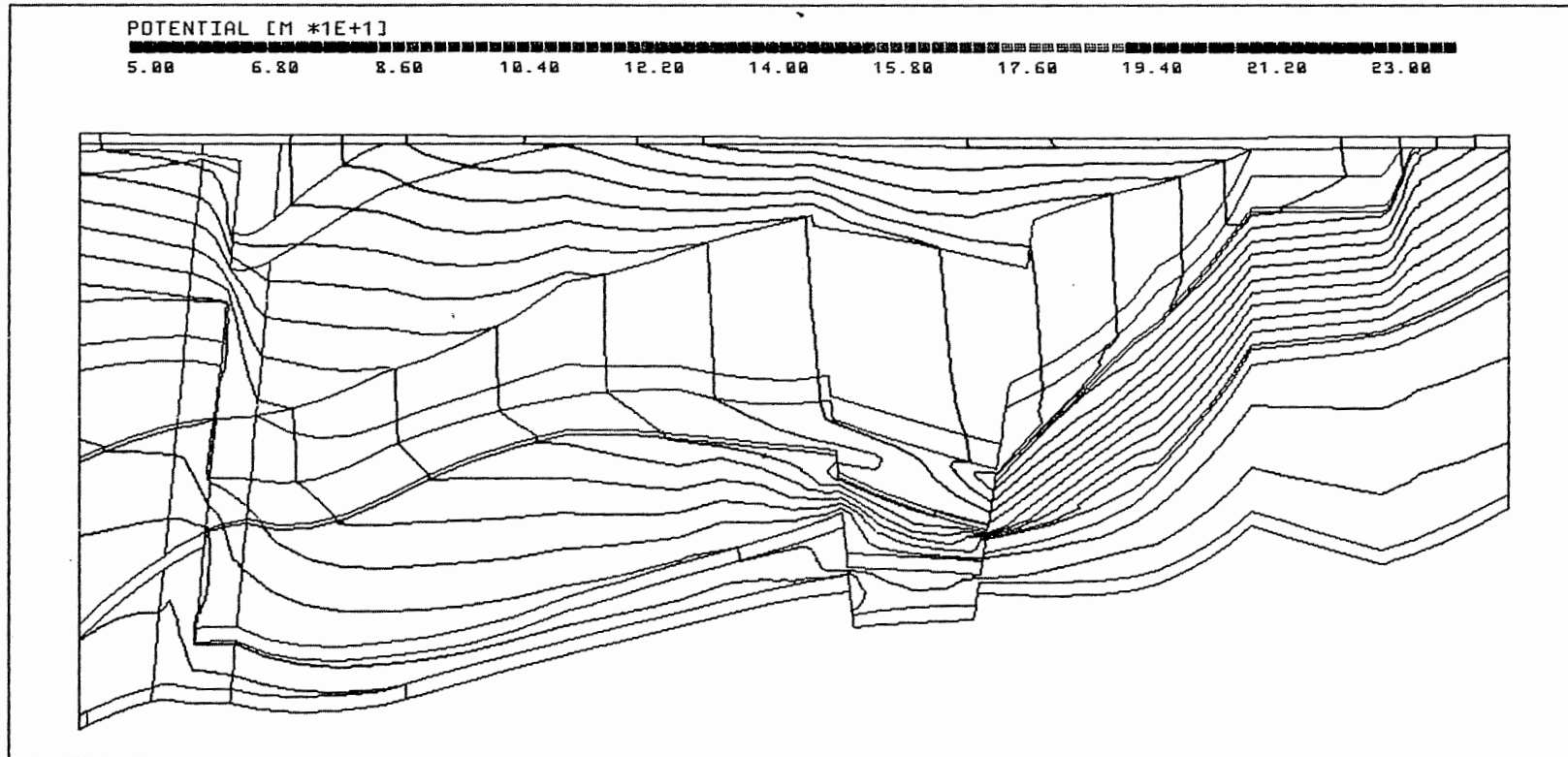
Anh. C3.1.1 Rechenfall R03: Potentiale im Schnitt 4

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL PTB\_R03.RES 96/0



Anh. C3.1.2 Rechenfall R03: Potentiale im Schnitt 8-9

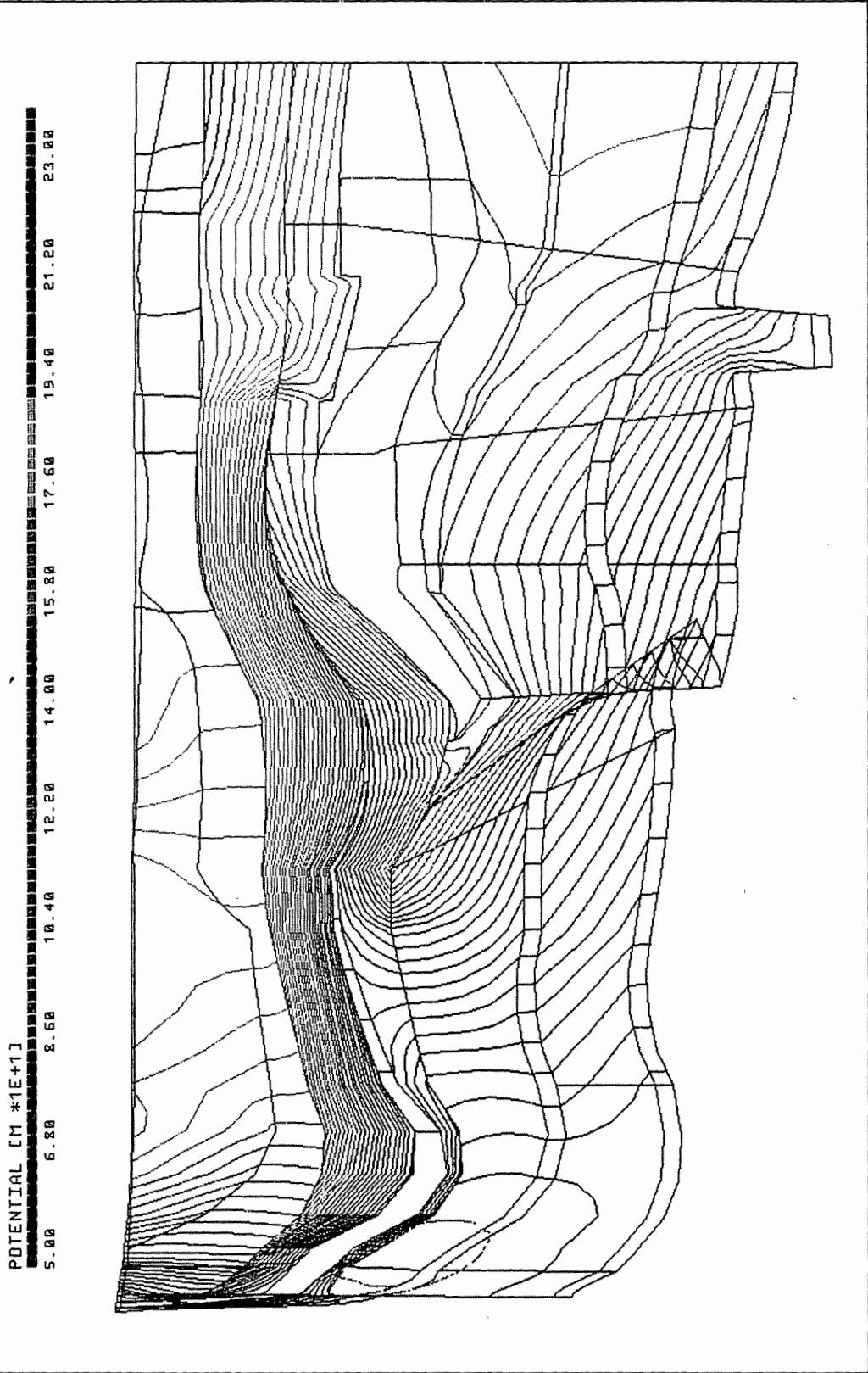
PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT10.EL PTB\_R03.RES 141/0



Anh. C3.1.3 Rechenfall R03: Potentiale im Schnitt 10

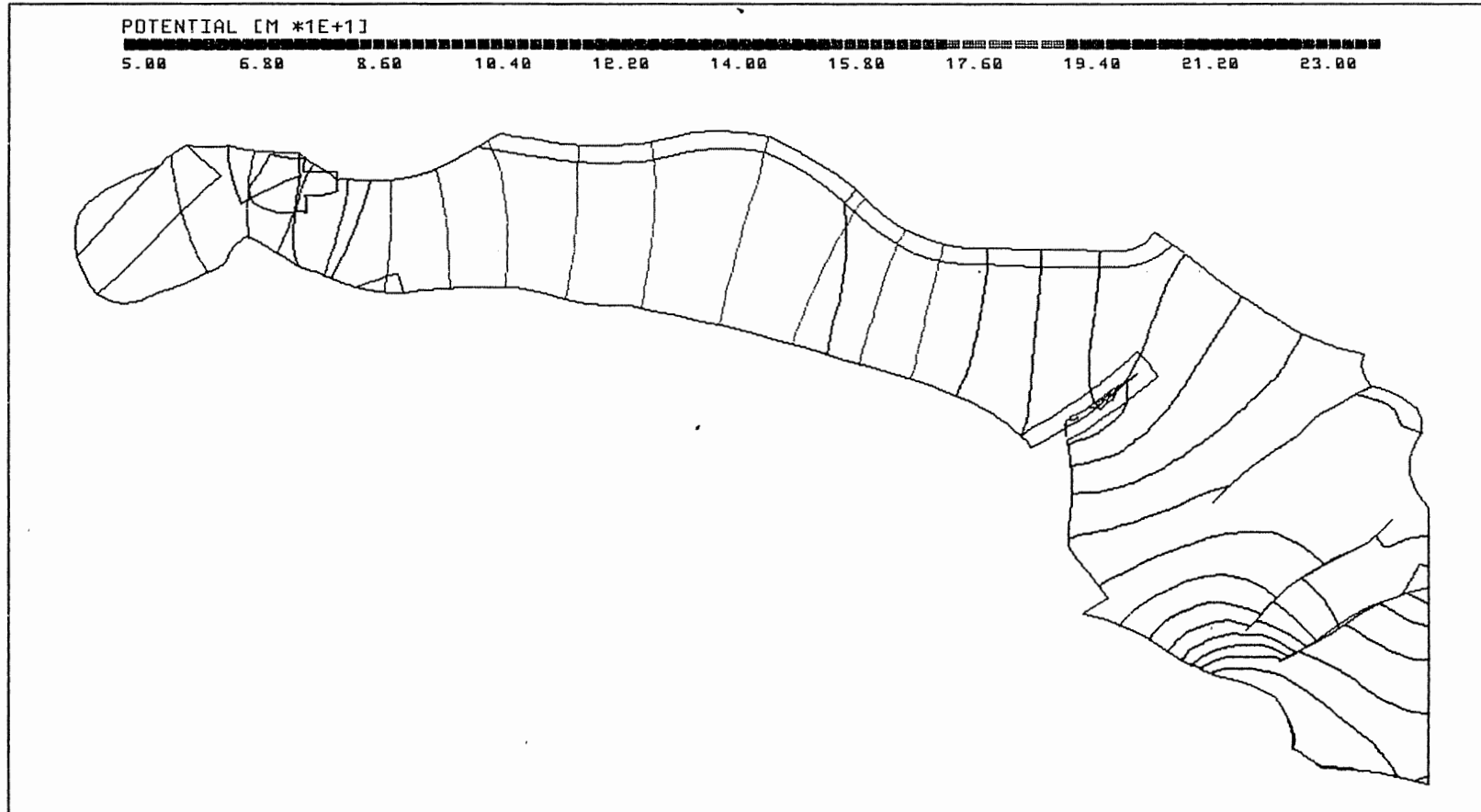


PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT12.EL PTB\_R03.RES 111/0



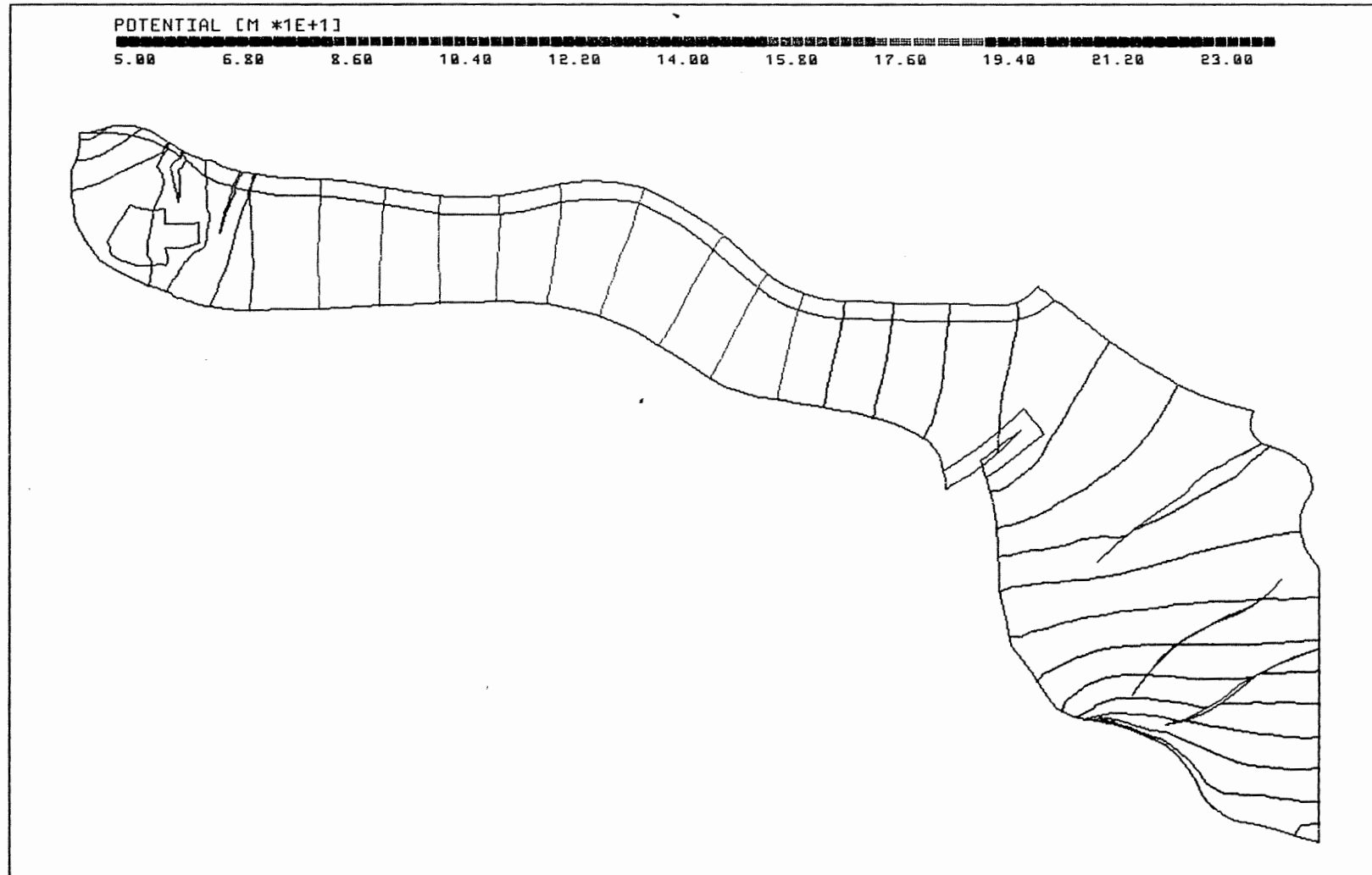
Anh. C3.1.4 Rechenfall R03: Potentiale im Schnitt 12

PTB.XYZ C\_BOT.EL PTB\_R03.RES 90/90



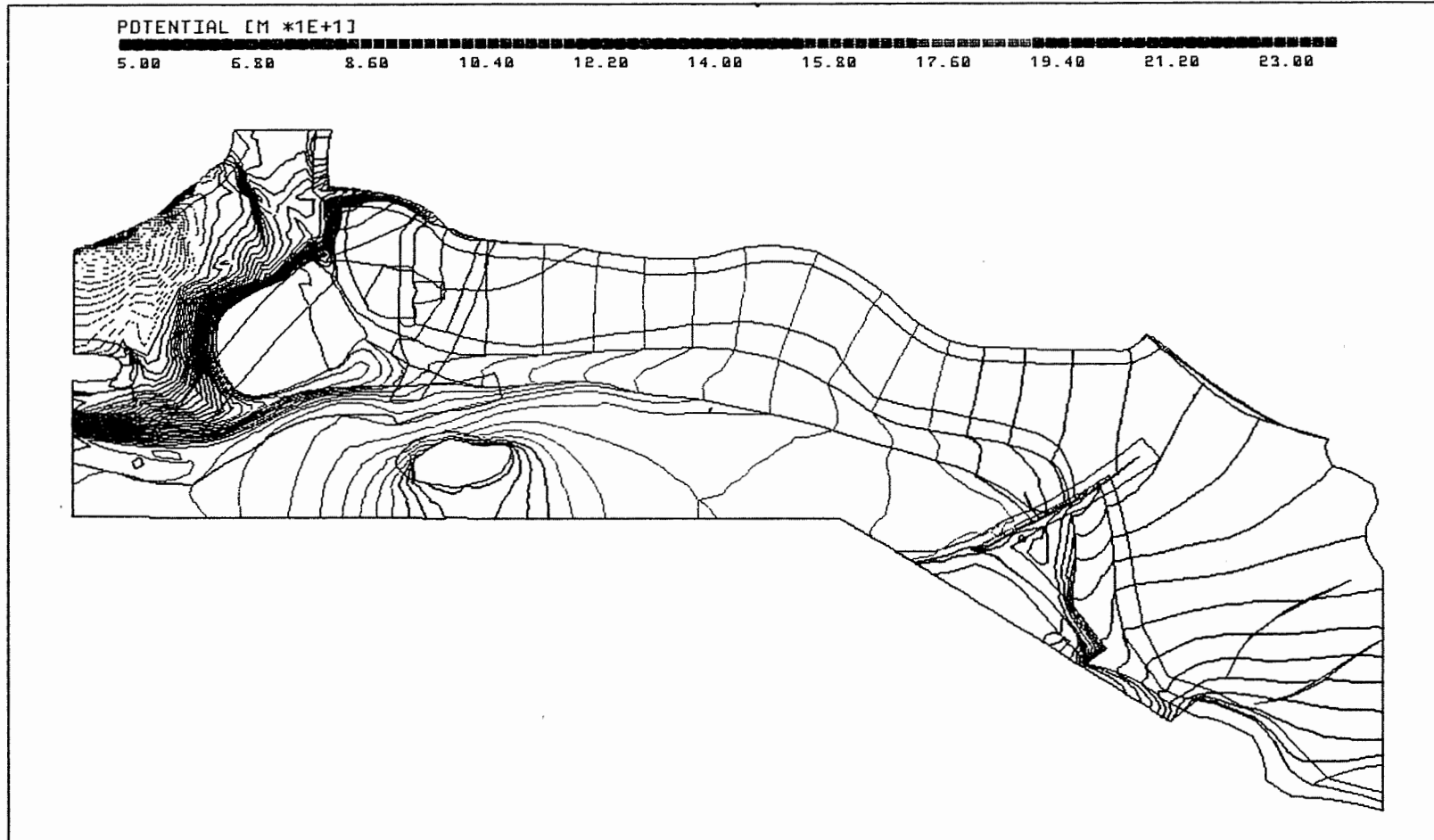
Anh. C3.2.1 Rechenfall R03: Potentiale an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ OX\_BOT.EL PTB\_R03.RES 90/90



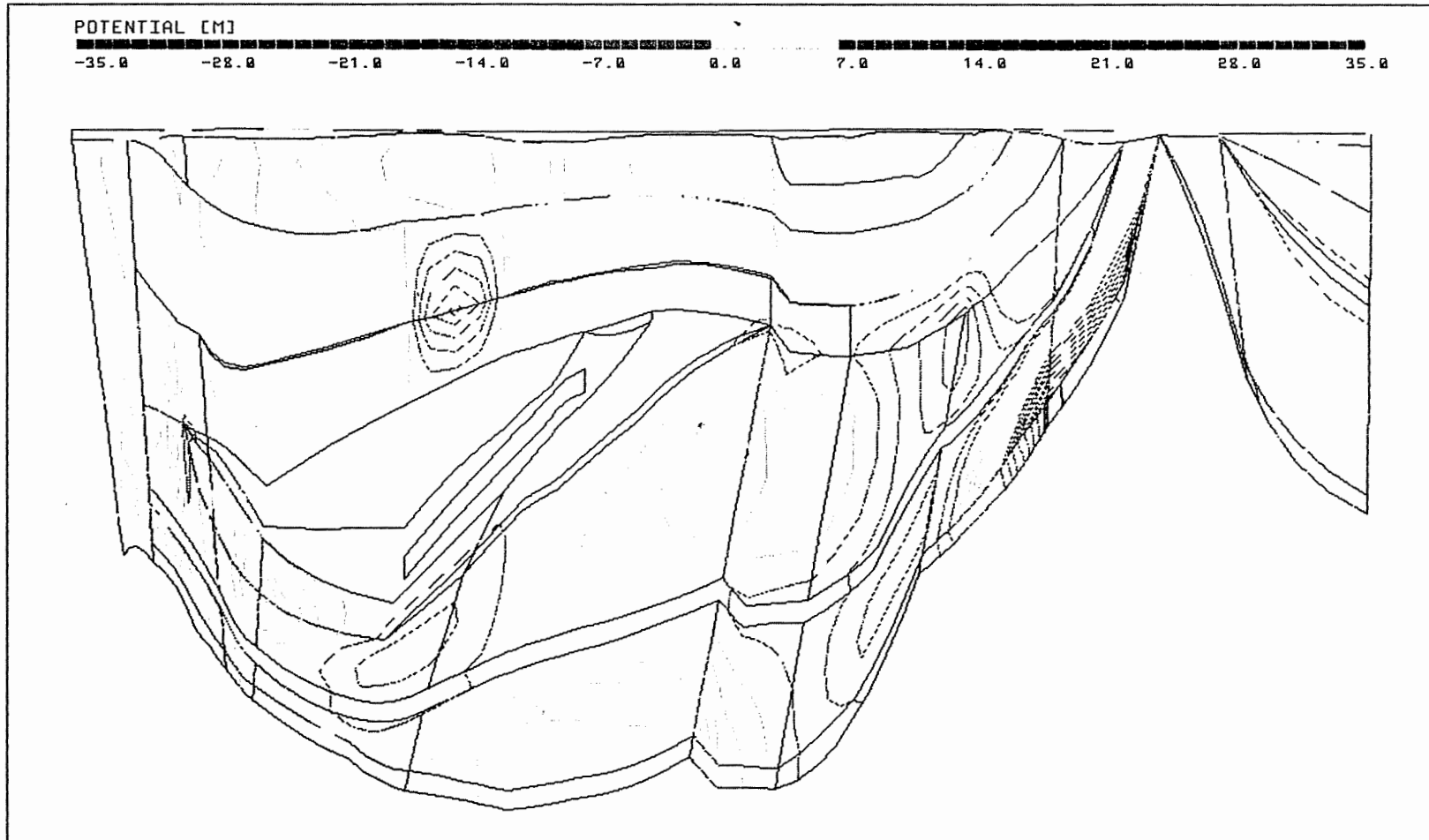
Anh. C3.2.2 Rechenfall R03: Potentiale an der Basis des Oxford

PTB.XYZ KRU\_BOT.EL PTB\_R03.RES 90/90



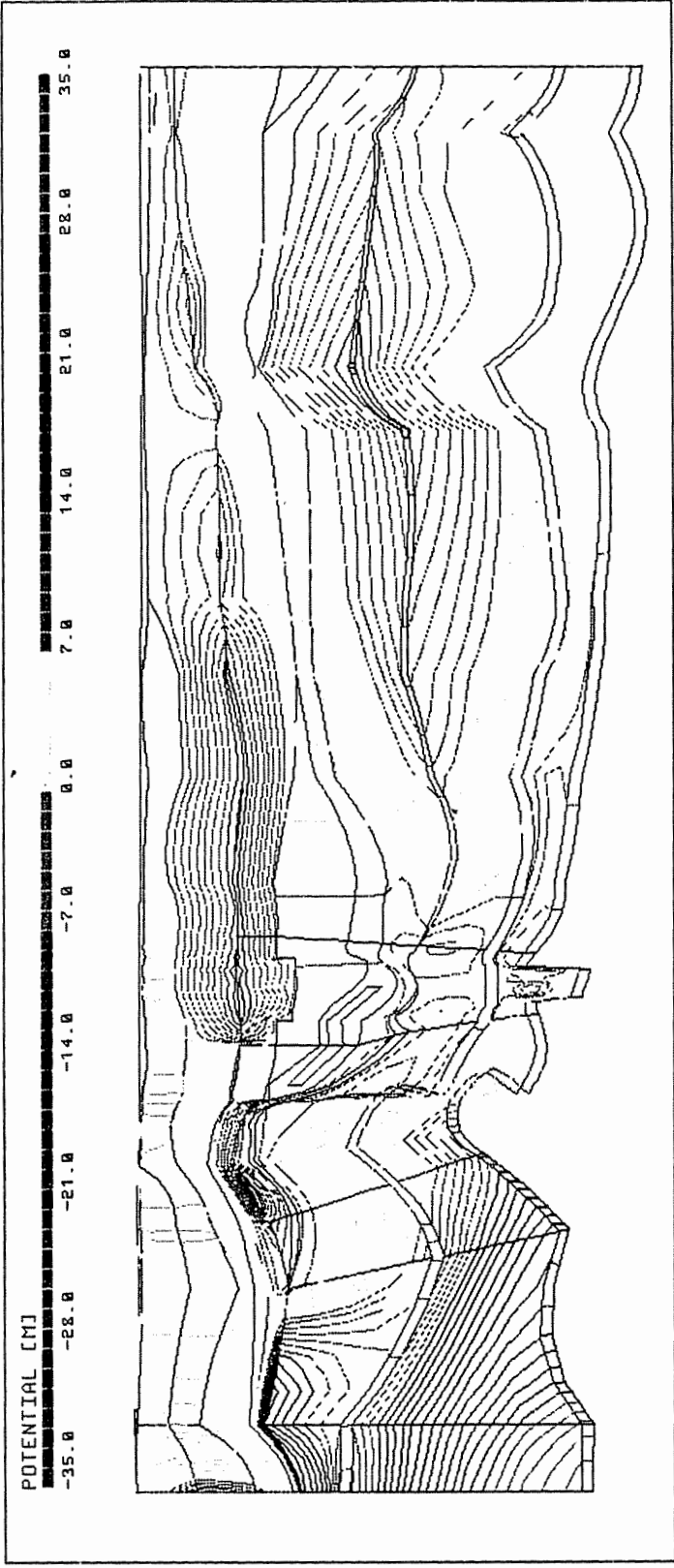
Anh. C3.2.3 Rechenfall R03: Potentiale an der Basis der Unterkreide

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL R03-R01.DIF 177/0



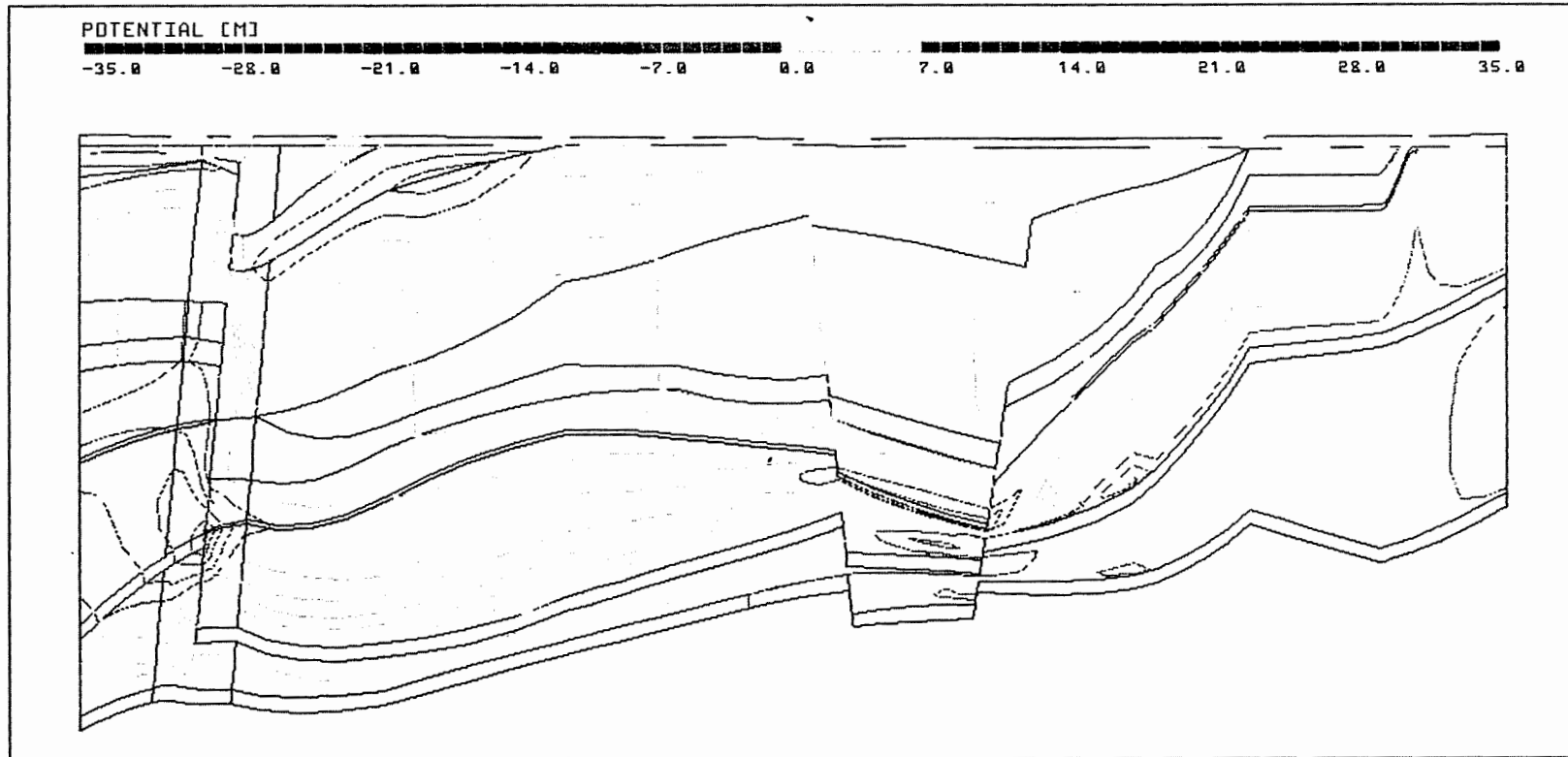
Anh. C3.3.1 Rechenfall R03: Potentialunterschiede R03-R01,  
Schnitt 4

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL R03-R01.DIF 96/0



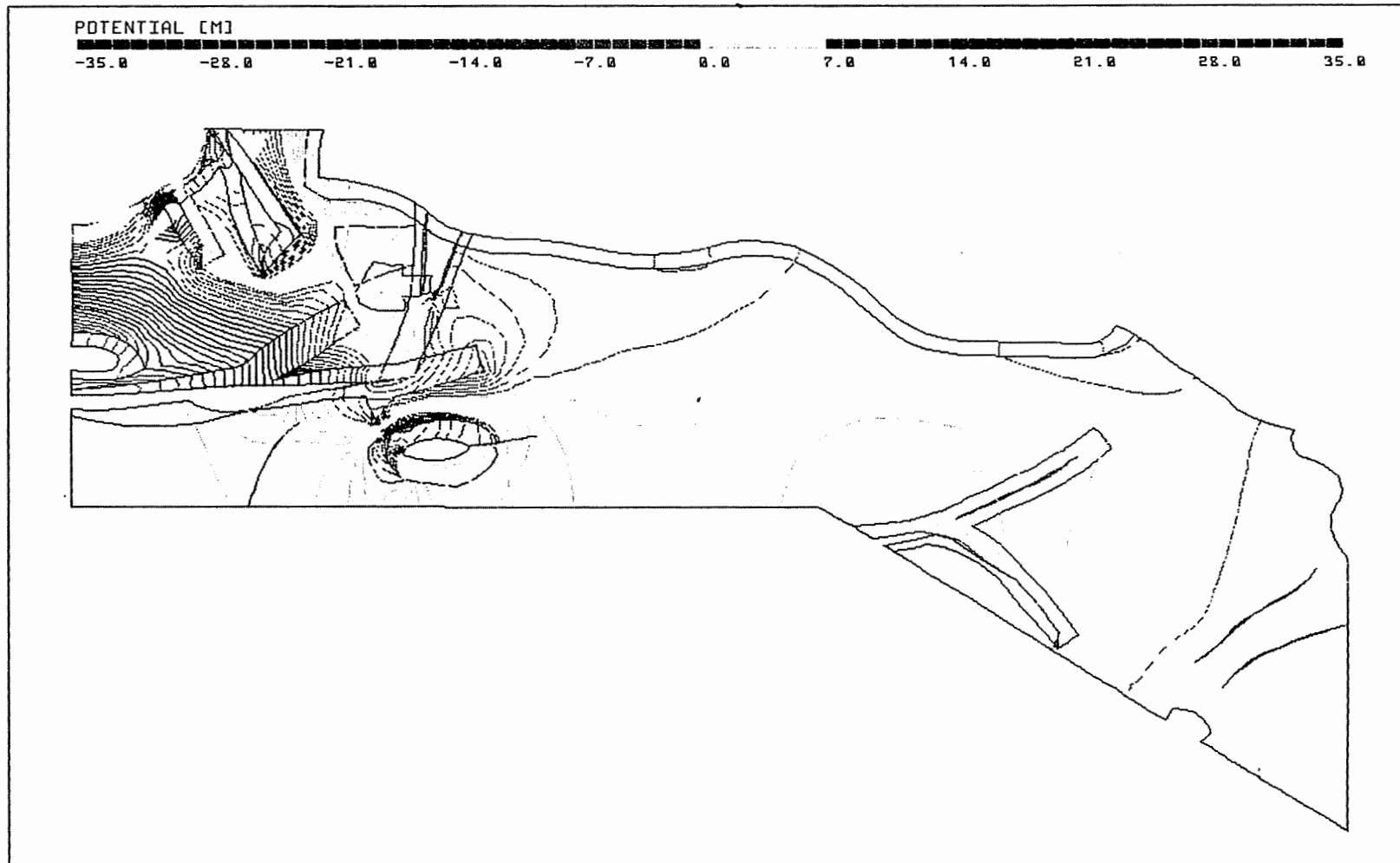
Anh. C3.3.2 Rechenfall R03: Potentialunterschiede R03-R01, Schnitt 8-9

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT10.EL R03-R01.DIF 141/0



Anh. C3.3.3 Rechenfall R03: Potentialunterschiede R03-R01,  
Schnitt 10

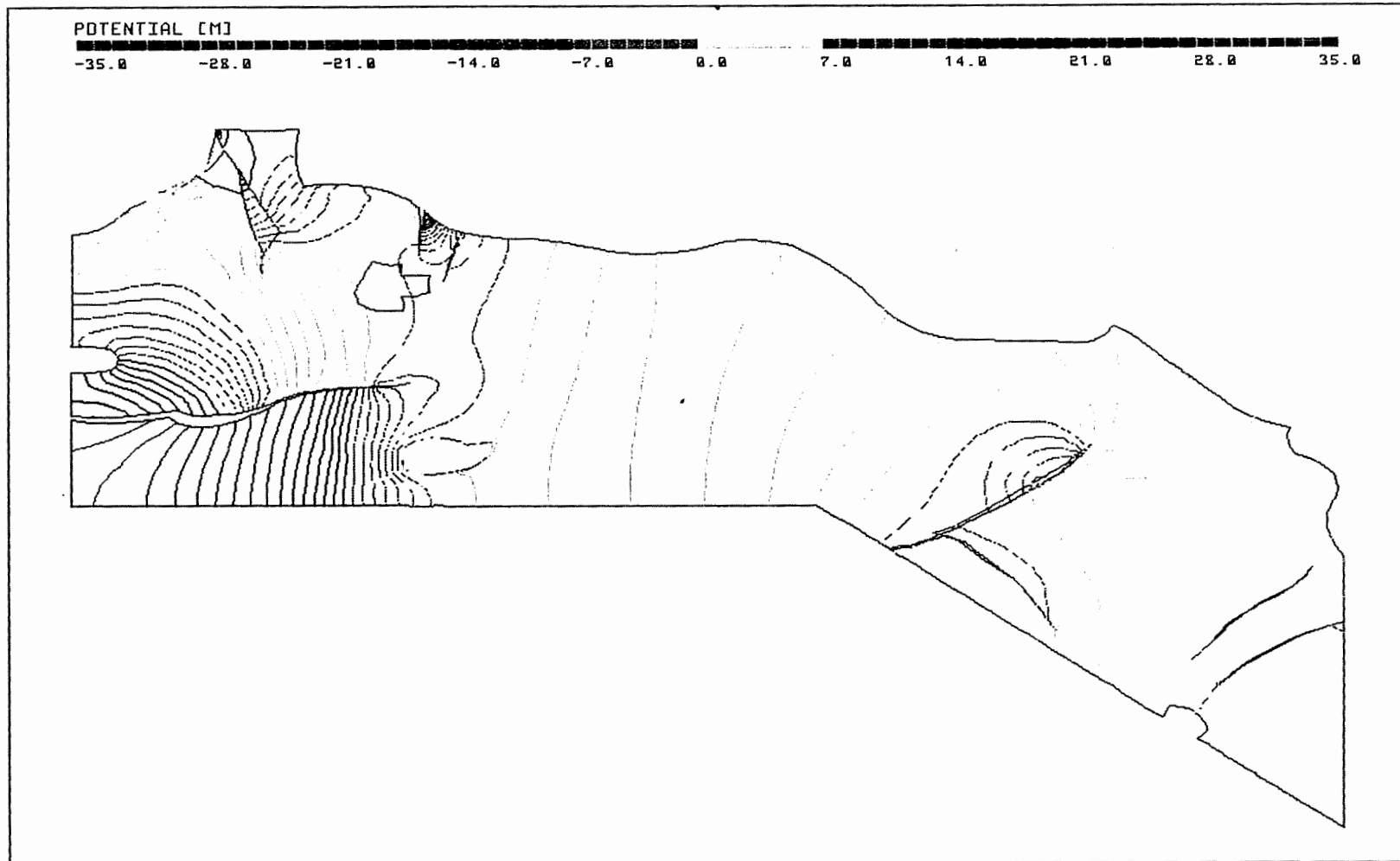
PTB.XYZ MO\_BOT.EL R03-R01.DIF 90/90



Anh. C3.4.1 Rechenfall R03: Potentialunterschiede R03-R01  
an der Basis des Oberen Muschelkalks

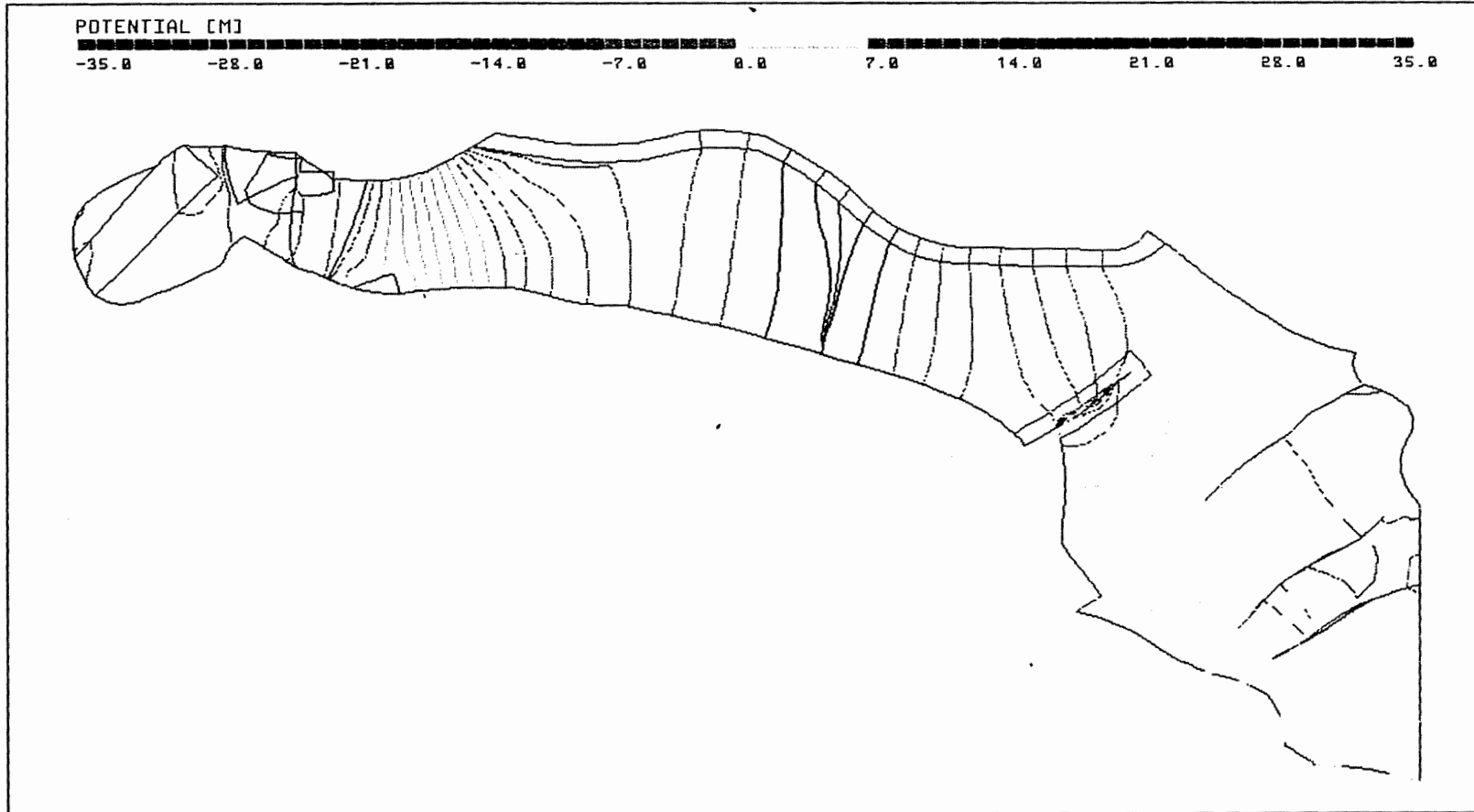


PTB.XYZ KO\_BOT.EL R03-R01.DIF 90/90



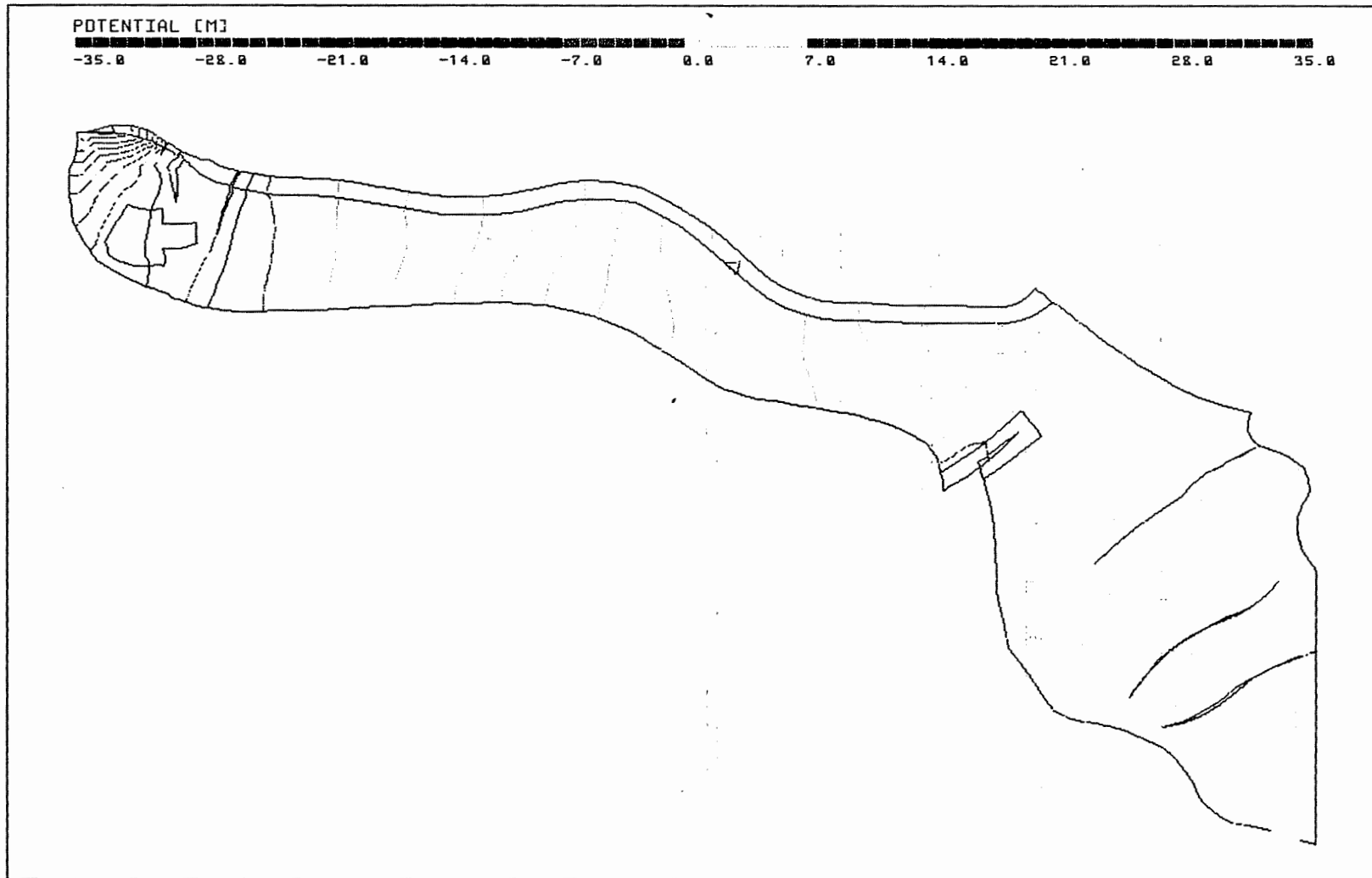
Anh. C3.4.2 Rechenfall R03: Potentialunterschiede R03-R01  
an der Basis des Rhät

PTB.XYZ C\_BOT.EL R03-R01.DIF 90/90



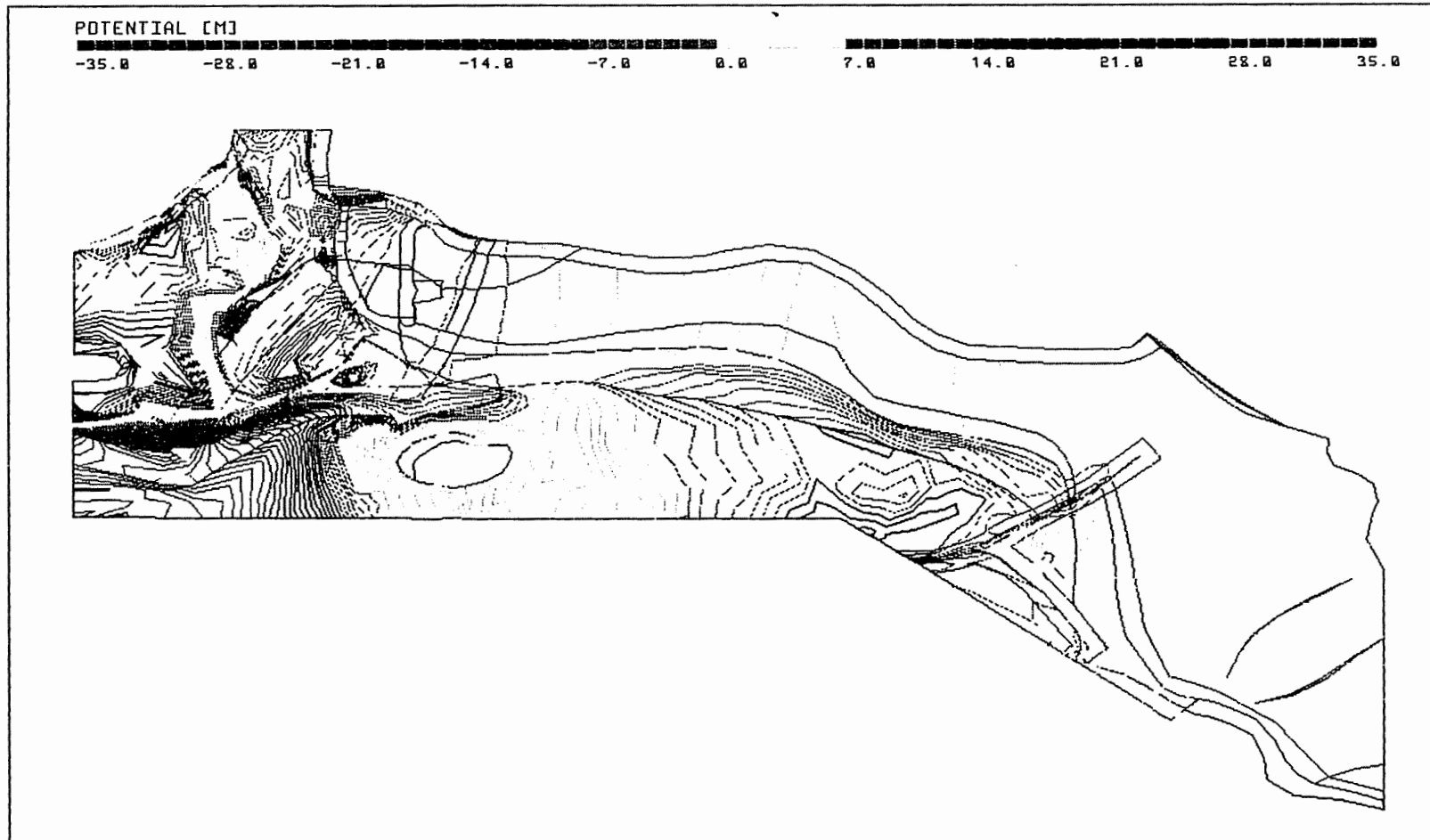
Anh. C3.4.3 Rechenfall R03: Potentialunterschiede R03-R01  
an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ OX\_BOT.EL R03-R01.DIF 90/90



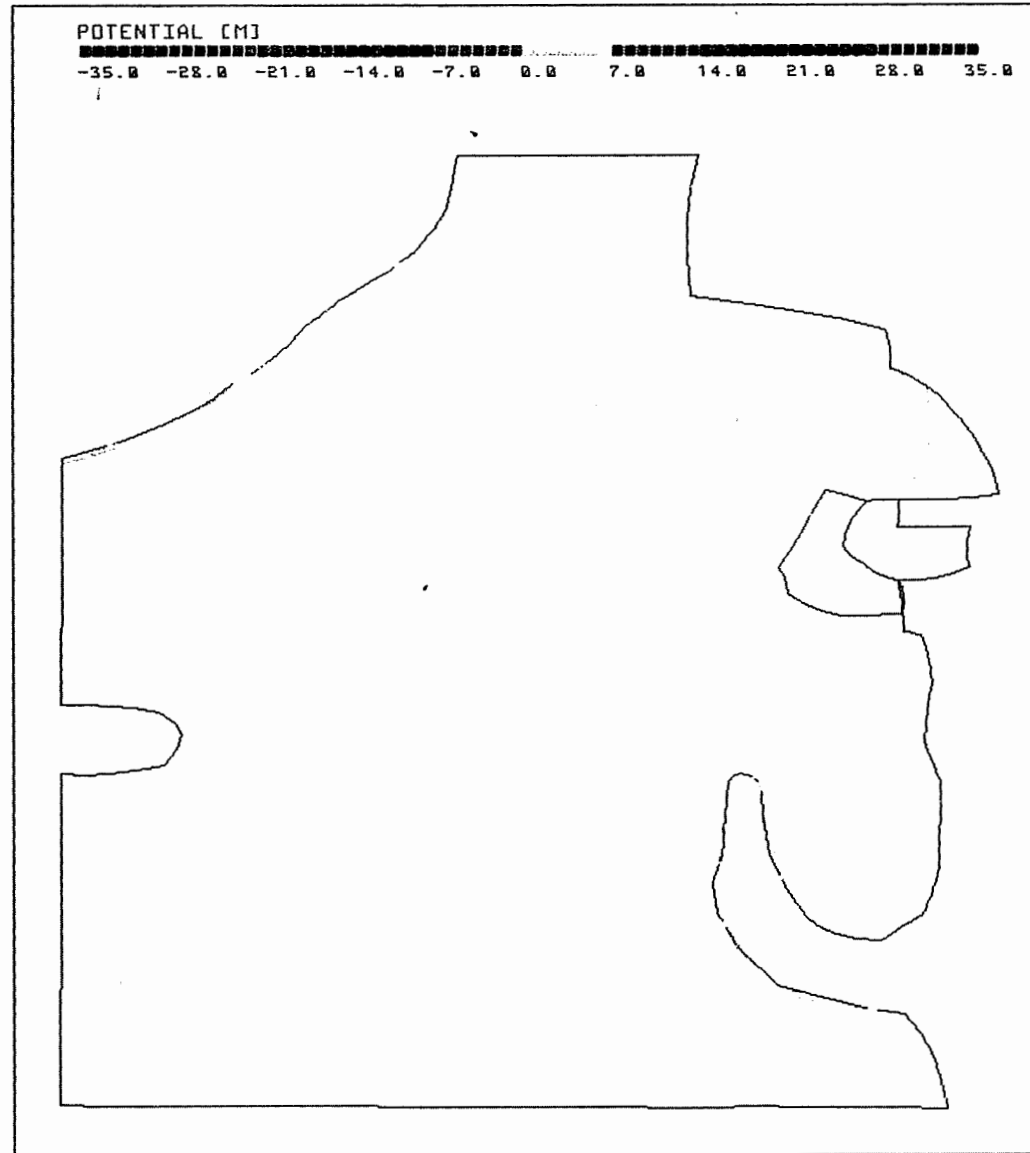
Anh. C3.4.4 Rechenfall R03: Potentialunterschiede R03-R01  
an der Basis des Oxford

PTB.XYZ KRU\_BOT.EL R03-R01.DIF 90/90



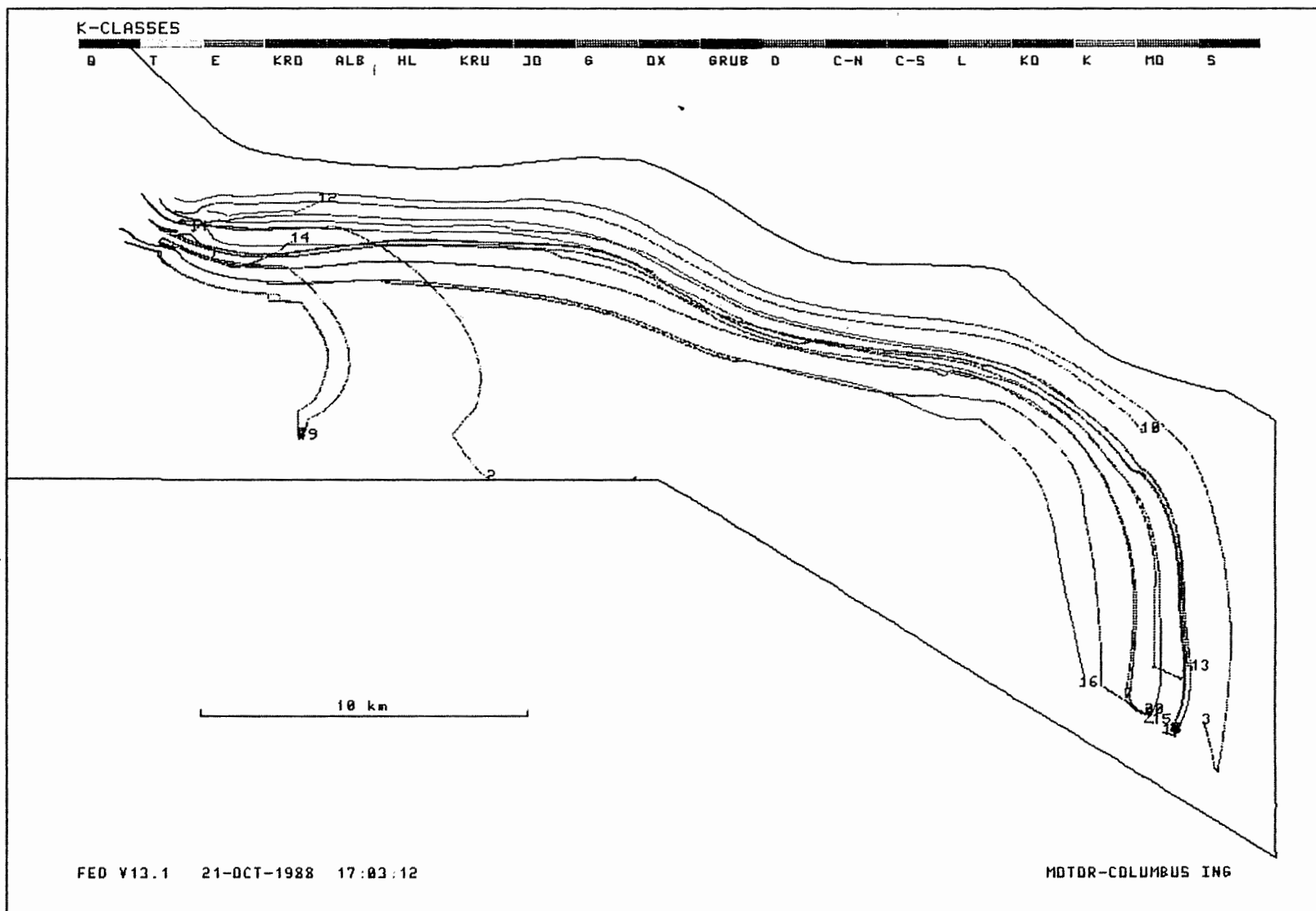
Anh. C3.4.5 Rechenfall R03: Potentialunterschiede R03-R01  
an der Basis der Unterkreide

PTB.XYZ HL\_BOT.EL R03-R01.DIF 90/90



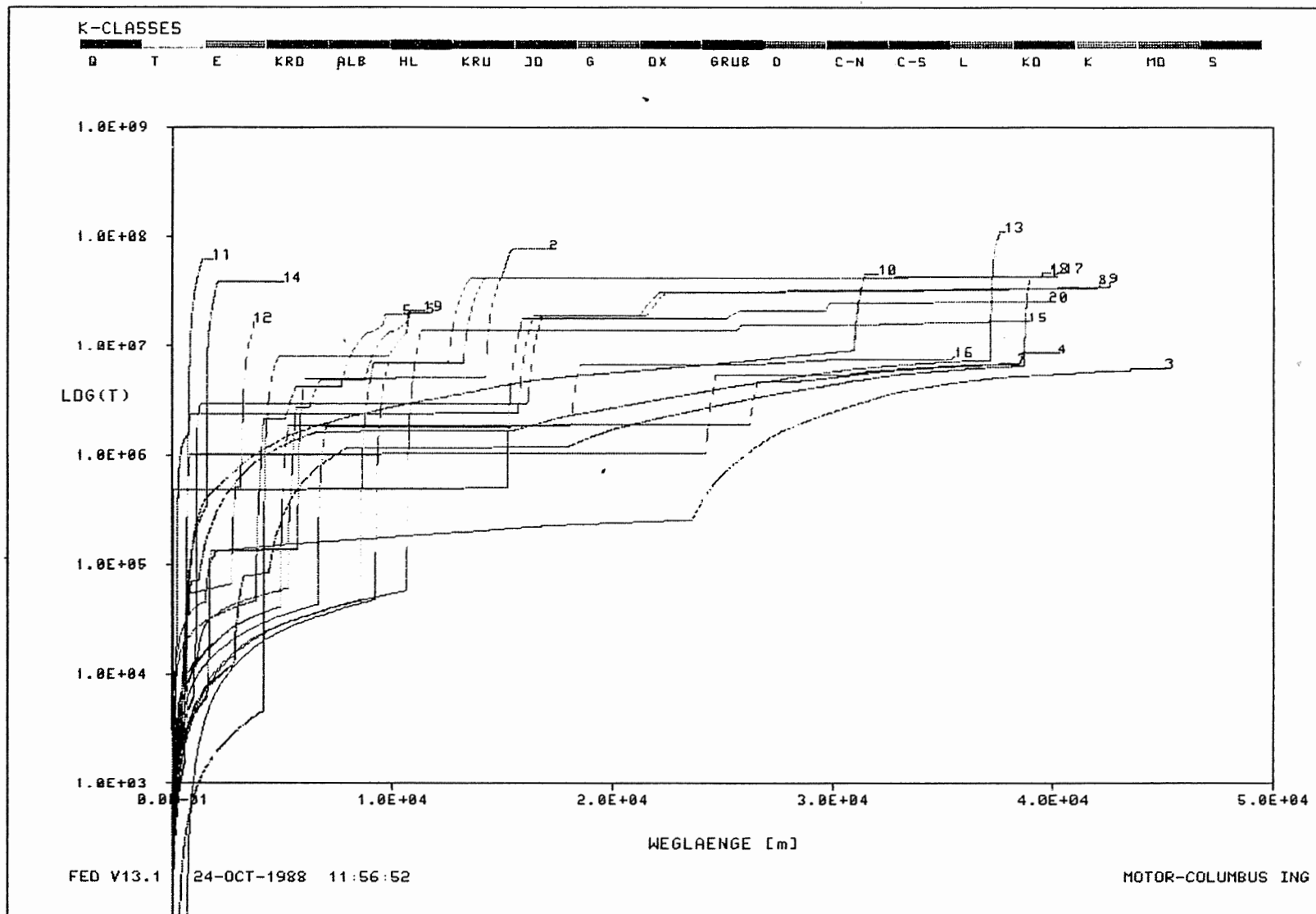
Anh. C3.4.6 Rechenfall R03: Potentialunterschiede R03-R01  
an der Basis des Hilssandsteins

R03: FLIESSWEGE (GRUNDRISS)



Anh. C3.5.1 Rechenfall R03: Fließwege im Grundriss

R03 WEG-ZEIT-DIAGRAMM DER FIESSWEGE

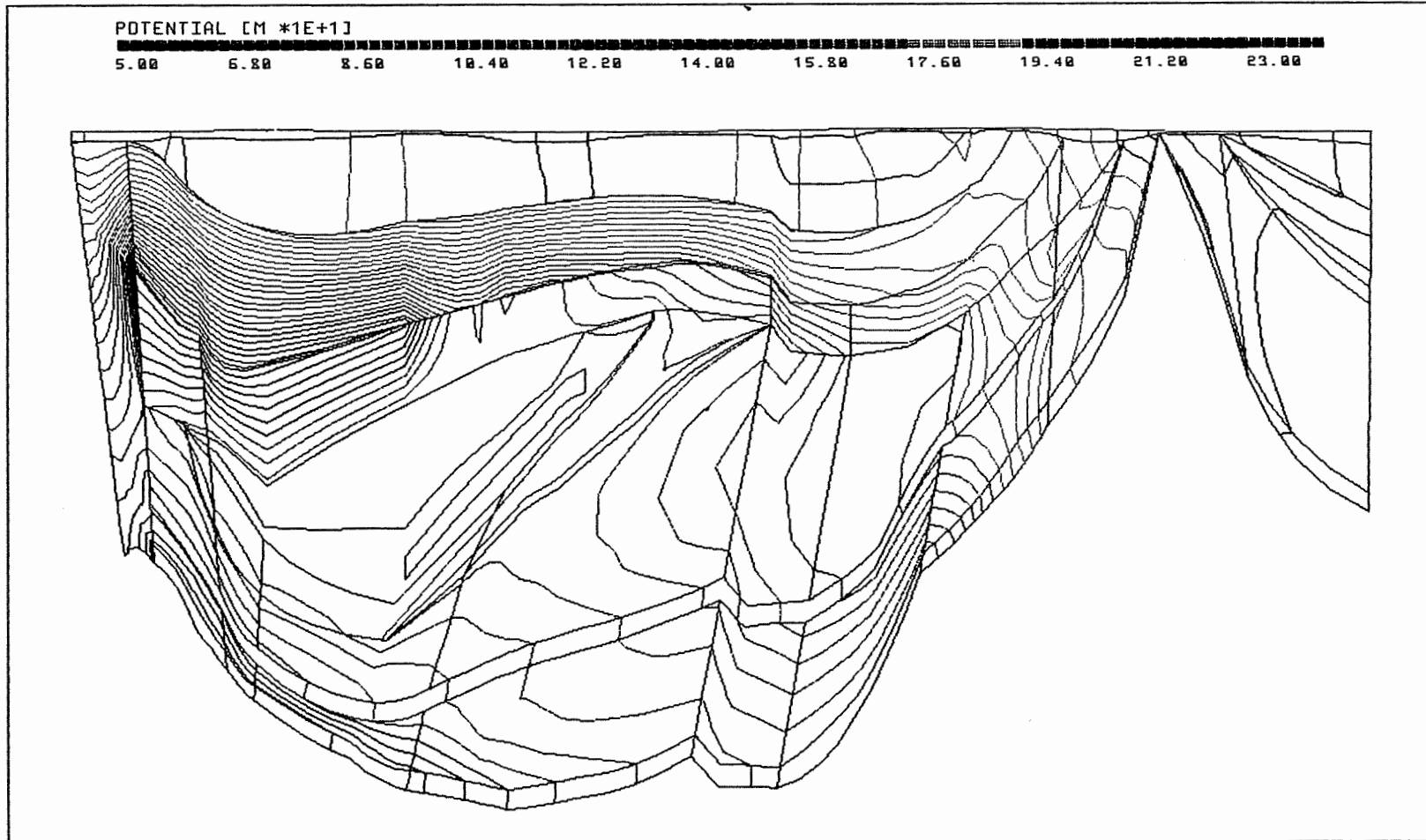


Anh. C3.5.3 Rechenfall R03: Weg-Zeit-Diagramm der Fliesswege  
(Zeit im logarithmischen Massstab)

- 4                    **Rechenfall R04**
- 4.1                Potentiale, Schnitte
- 4.1.1             Schnitt 4
- 4.1.2             Schnitt 8-9
- 4.1.3             Schnitt 12
  
- 4.2                Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 4.2.1             Basis Cornbrash-Sandstein
- 4.2.2             Basis Oxford
- 4.2.3             Basis Unterkreide
  
- 4.3                Potentialunterschiede R04-R01, Schnitte
- 4.3.1             Schnitt 4
- 4.3.2             Schnitt 5
- 4.3.3             Schnitt 8-9
  
- 4.4                Potentialunterschiede R04-R01, Basisflächen von Schichteinheiten
- 4.4.1             Basis Oberer Muschelkalk
- 4.4.2             Basis Rhät
- 4.4.3             Basis Cornbrash-Sandstein
- 4.4.4             Basis Oxford
- 4.4.5             Basis Unterkreide
- 4.4.6             Basis Hilssandstein
  
- 4.5                Fliesswege
- 4.5.1             Grundriss
- 4.5.2             Aufriss
- 4.5.3             Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Masstab)

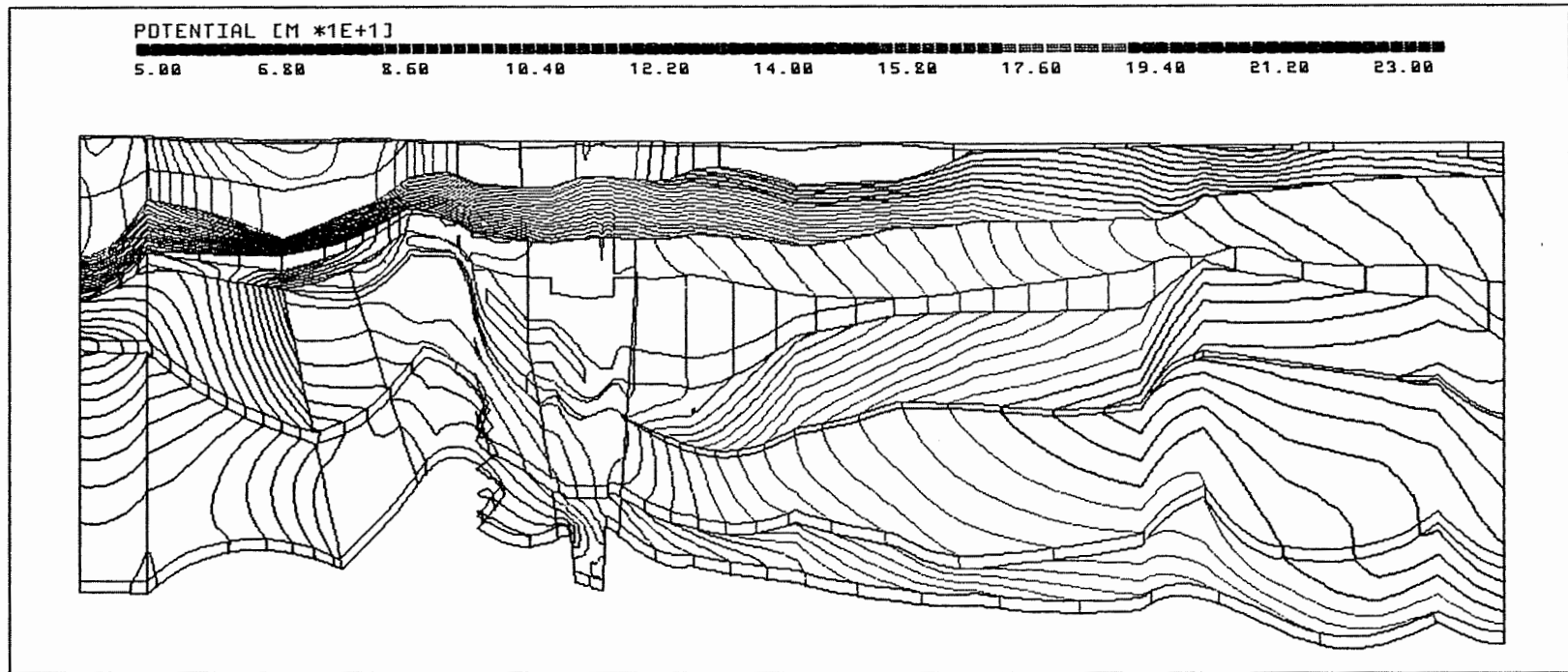


PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL PTB\_R04.RES 177/0



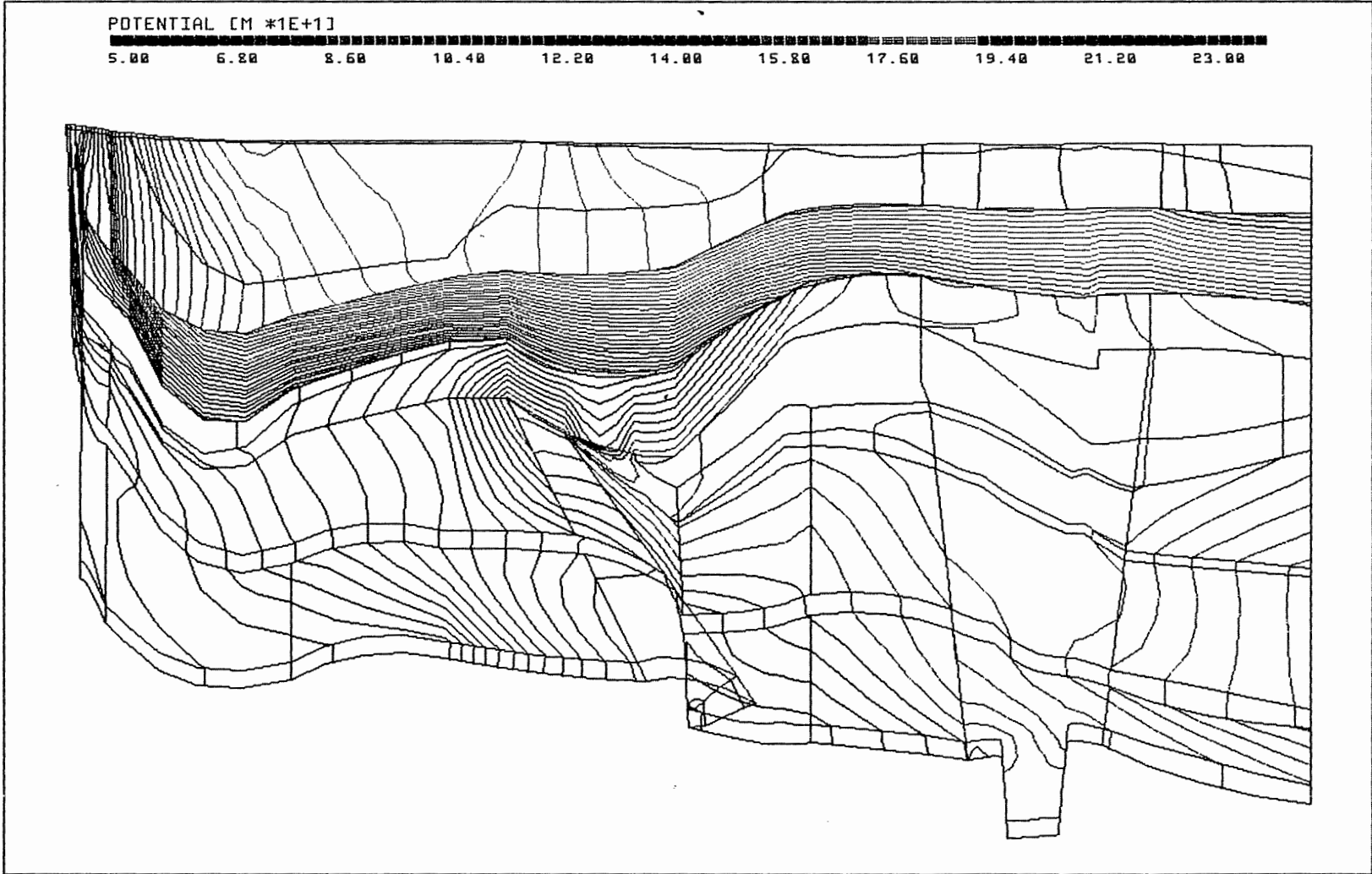
Anh. C4.1.1 Rechenfall R04: Potentiale im Schnitt 4

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL PTB\_R04.RES 96/0



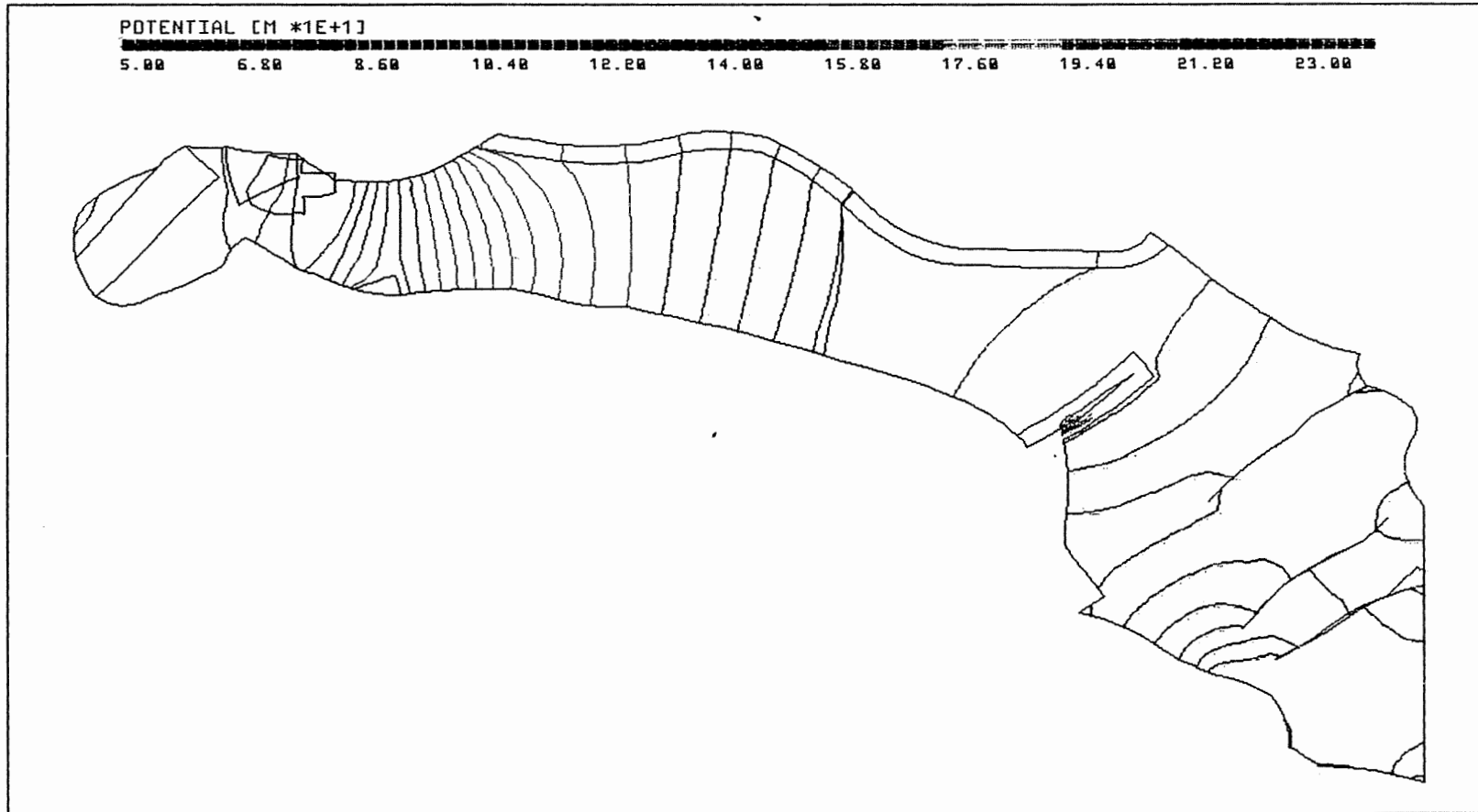
Anh. C4.1.2 Rechenfall R04: Potentiale im Schnitt 8-9

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT12.EL PTB\_R04.RES 111/0



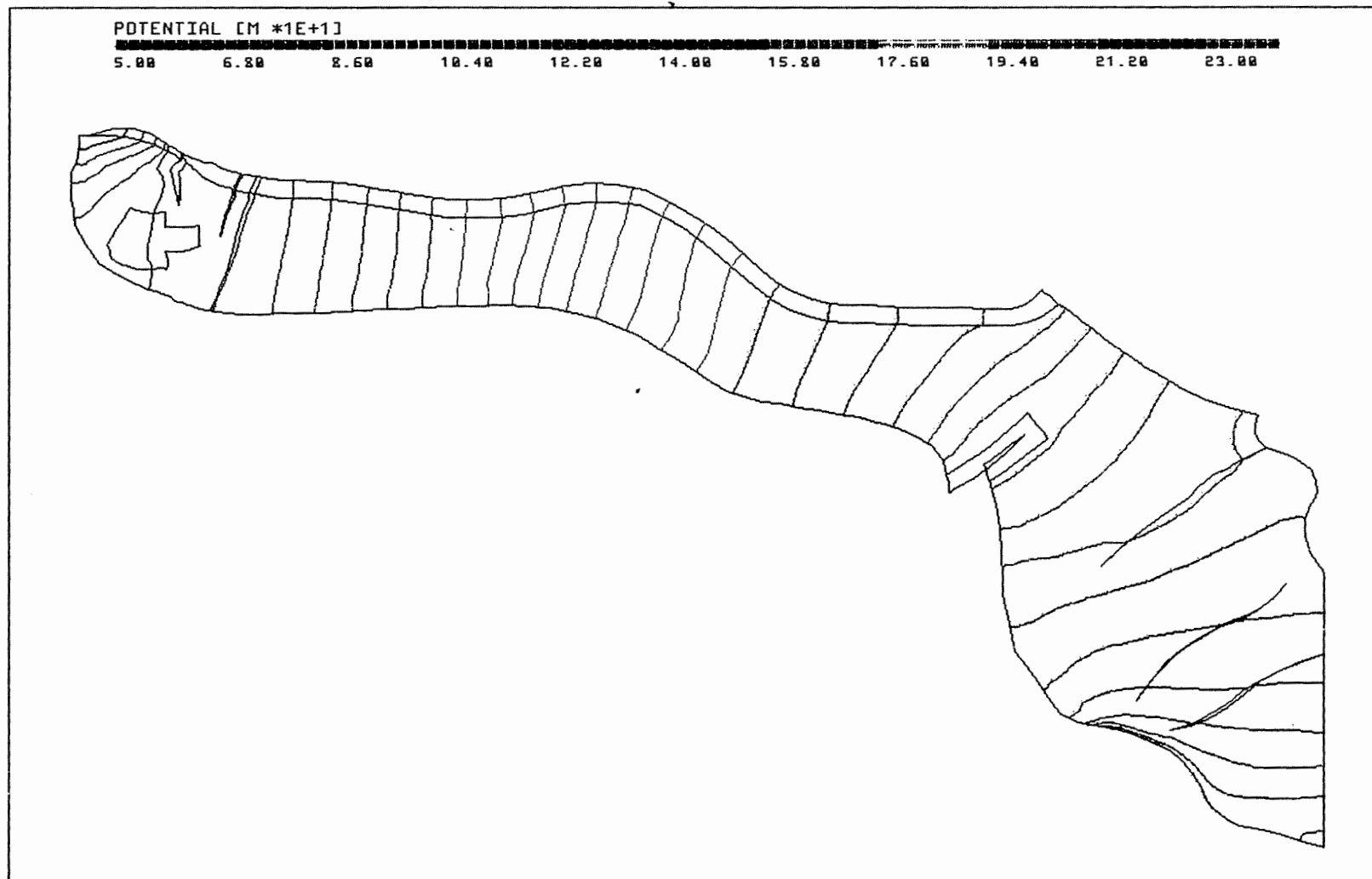
Anh. C4.1.3 Rechenfall R04: Potentiale im Schnitt 12

PTB.XYZ C\_BOT.EL PTB\_R04.RES 90/90



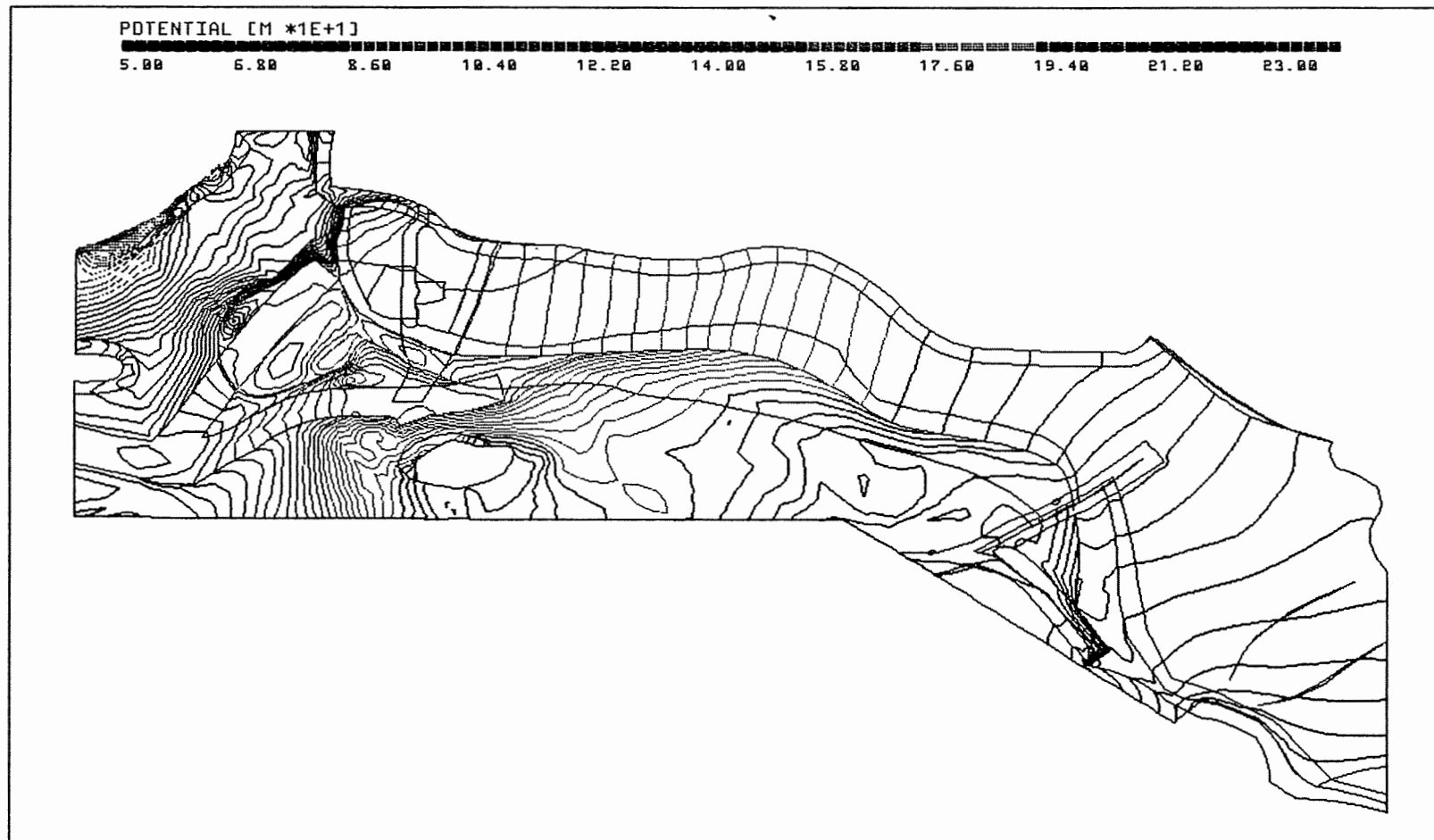
Anh. C4.2.1 Rechenfall R04: Potentiale an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ OX\_BOT.EL PTB\_R04.RES 90/90



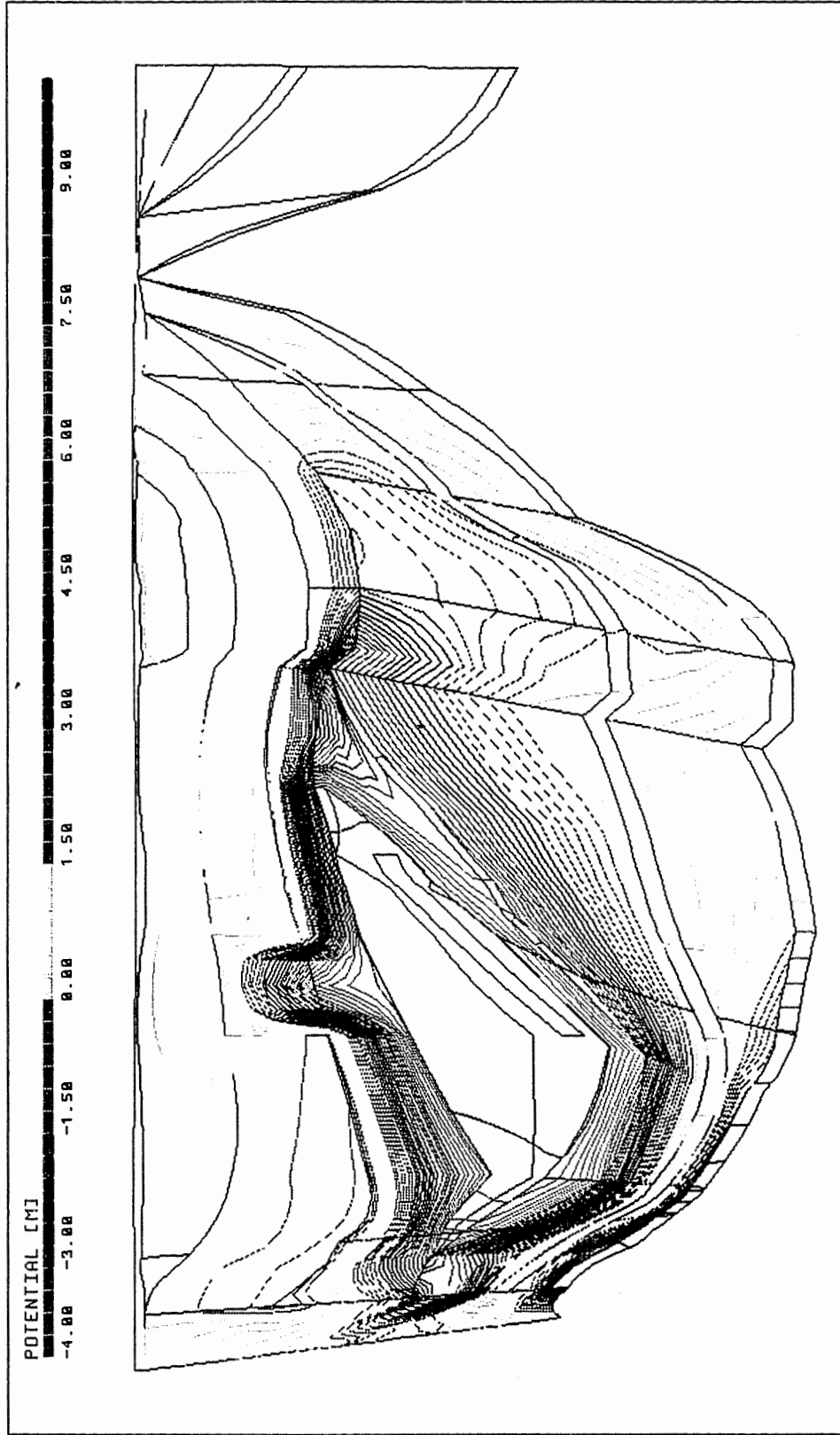
Anh. C4.2.2 Rechenfall R04: Potentiale an der Basis des Oxford

PTB.XYZ KRU\_BOT.EL PTB\_R04.RES 90/90



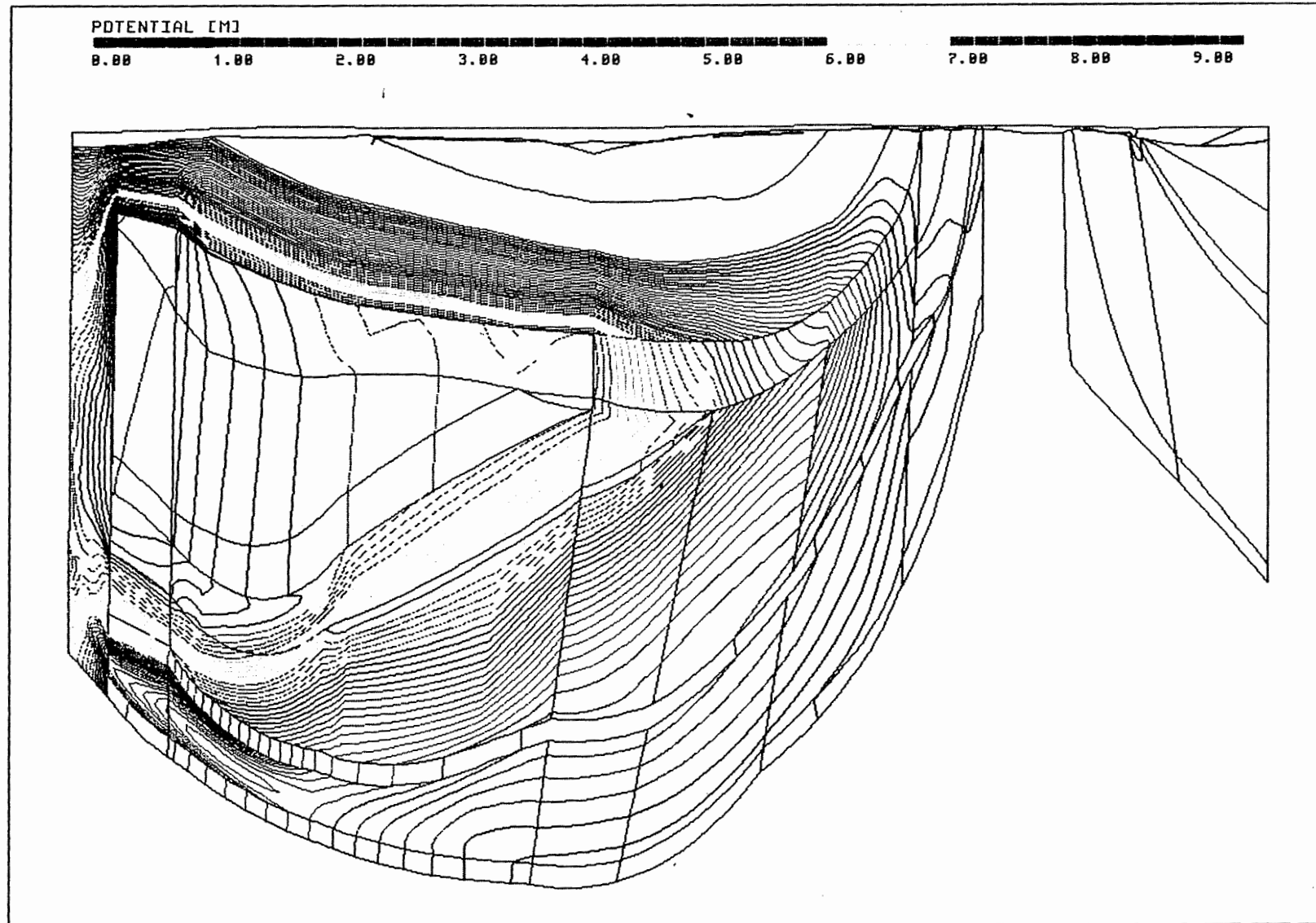
Anh. C4.2.3 Rechenfall R04: Potentiale an der Basis der Unterkreide

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL R04-R01.DIF 177/0



Anh. C4.3.1 Rechenfall R04: Potentialunterschiede R04-R01, Schnitt 4

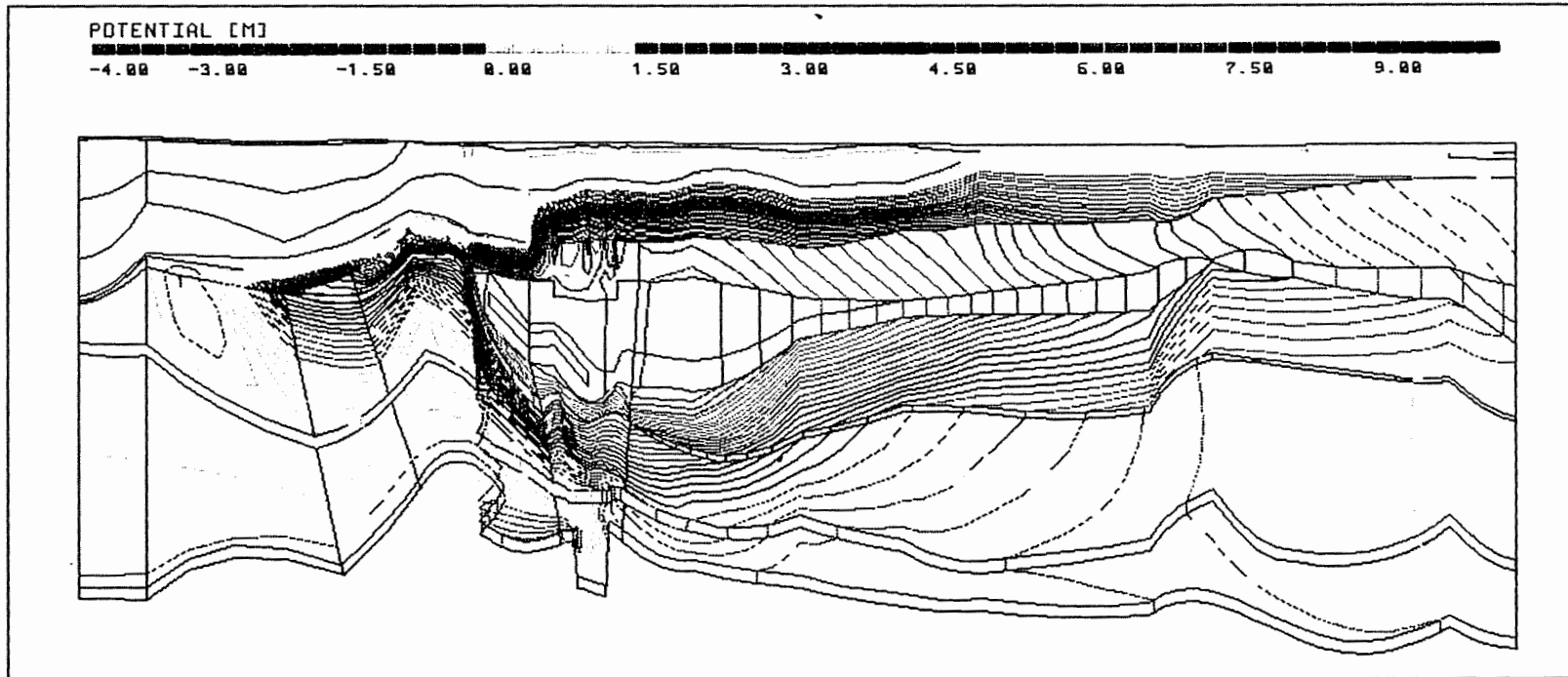
PTB.XYZ(Z\*3.0) SCHNITT5.EL R04-R01.DIF 186/0



Anh. C4.3.2 Rechenfall R04: Potentialunterschiede R04-R01, Schnitt 5

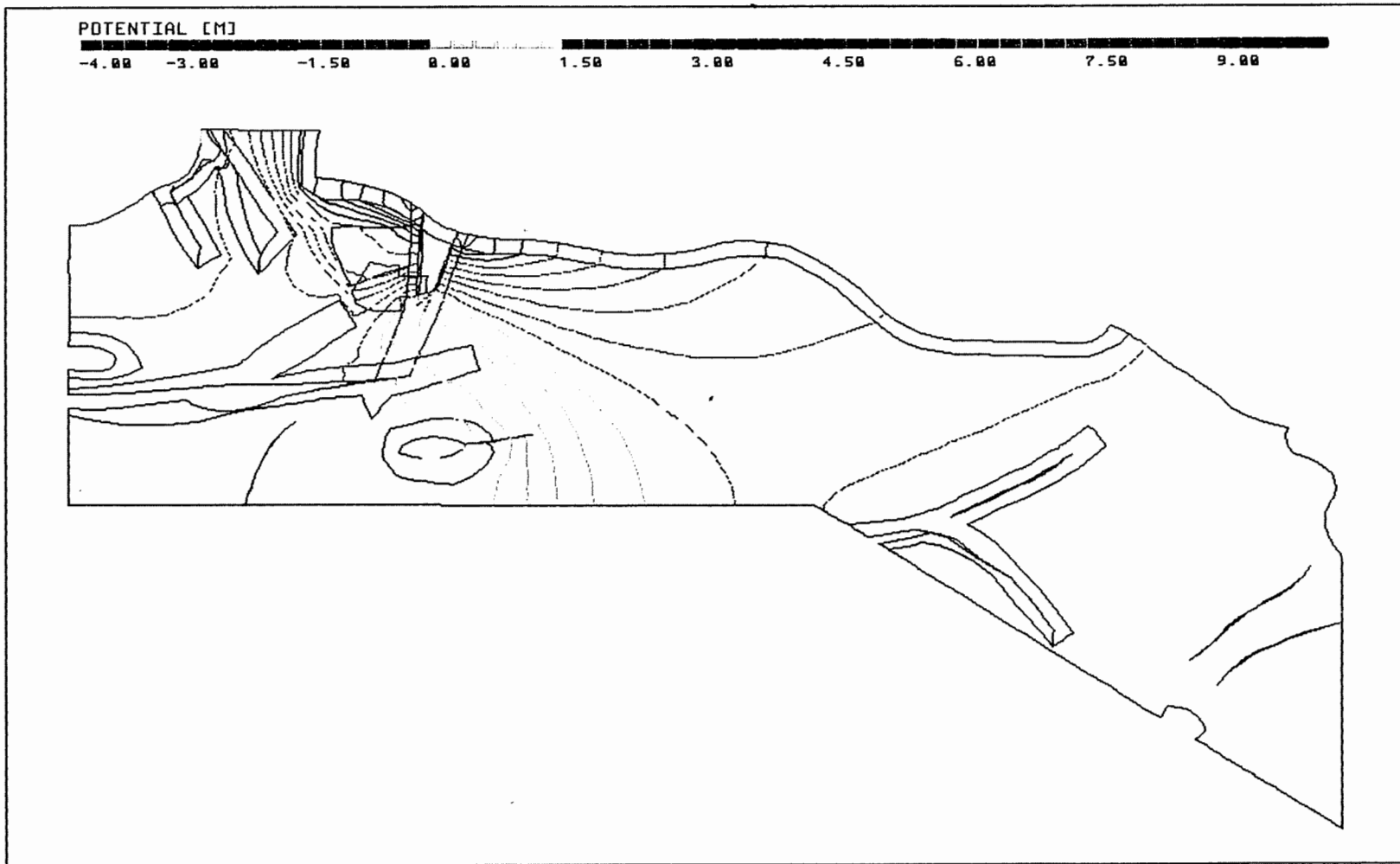


PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL R04-R01.DIF 96/0



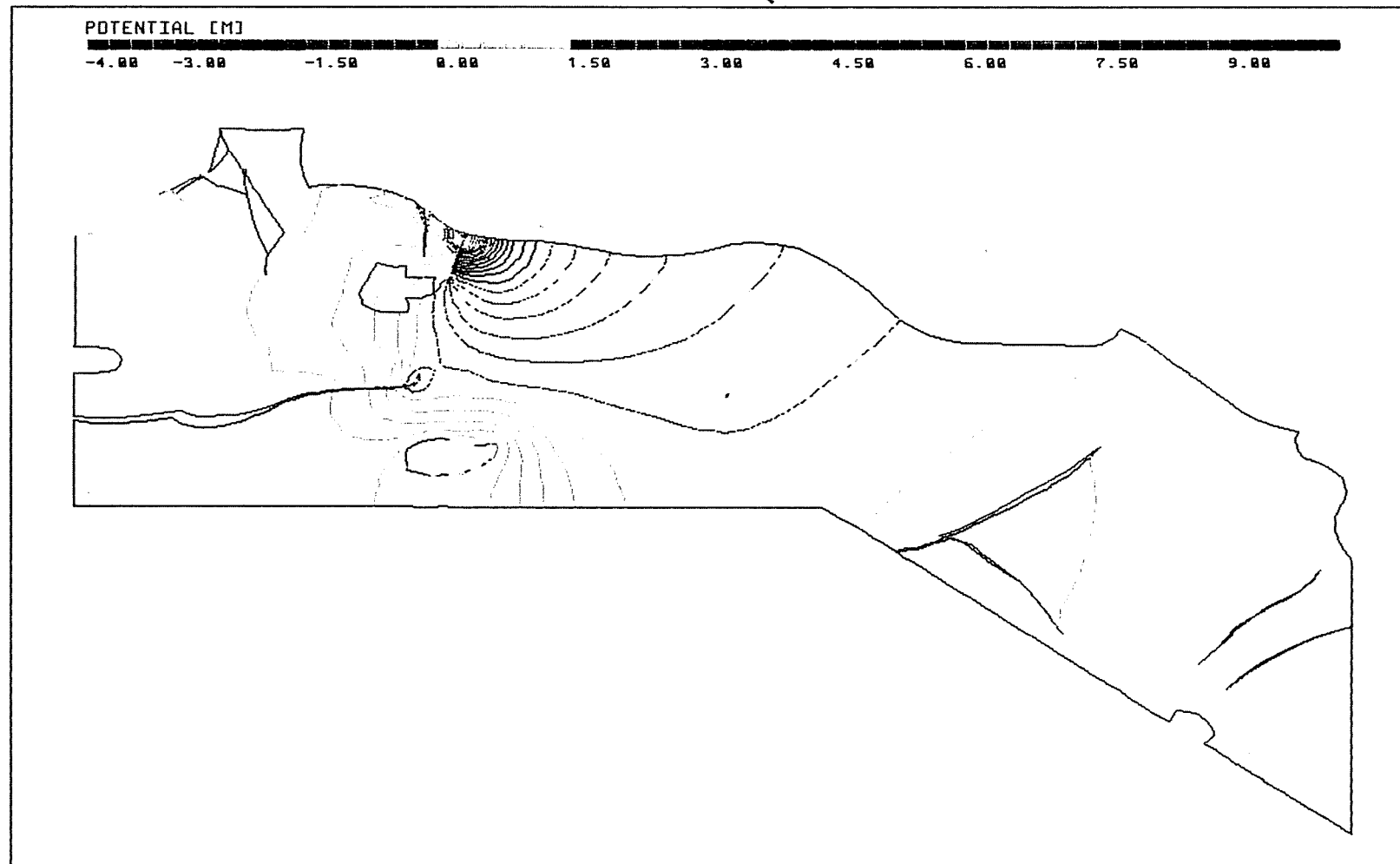
Anh. C4.3.3 Rechenfall R04: Potentialunterschiede R04-R01,  
Schnitt 8-9

PTB.XYZ MO\_BOT.EL R04-R01.DIF 90/90



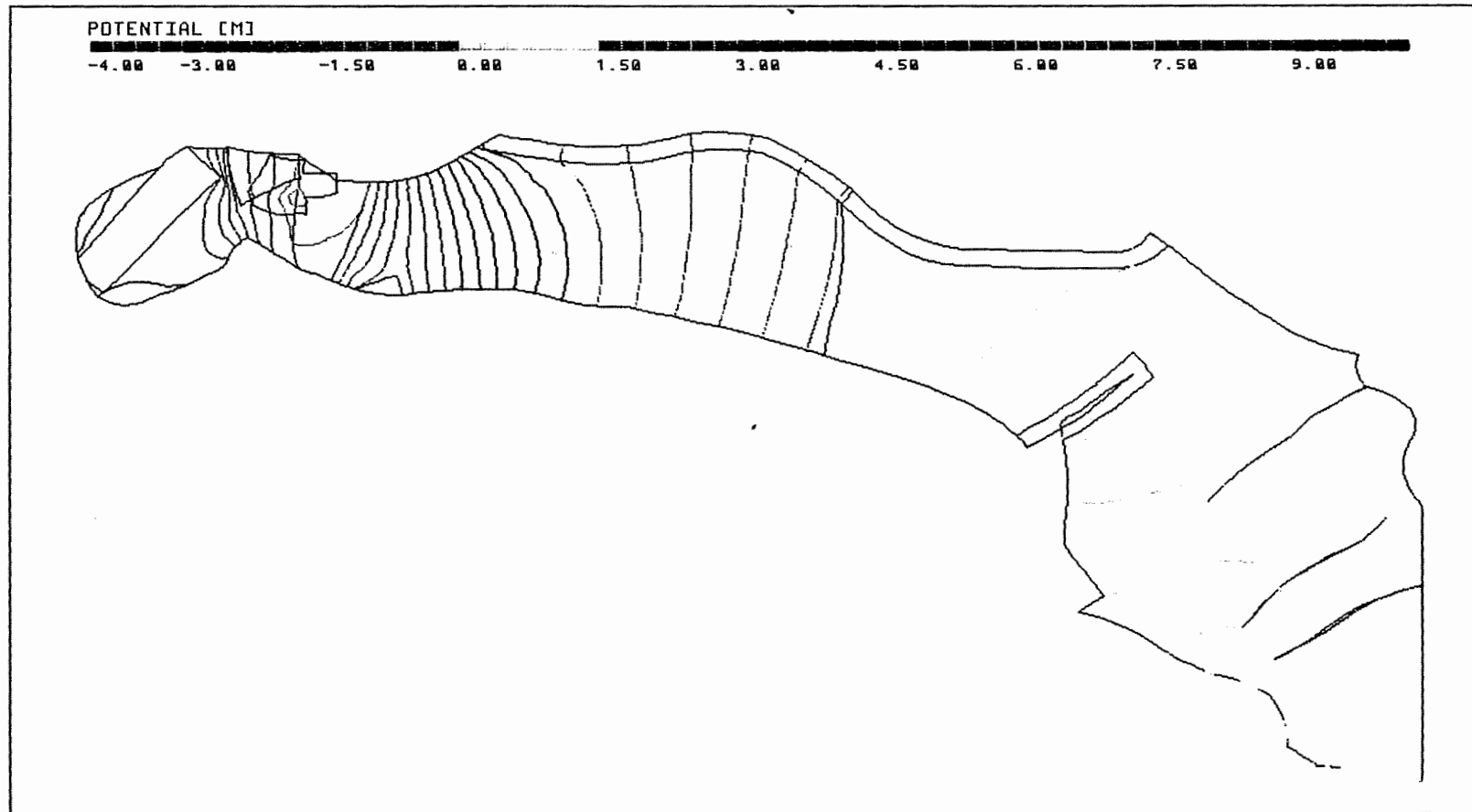
Anh. C4.4.1 Rechenfall R04: Potentialunterschiede R04-R01  
an der Basis des Oberen Muschelkalks

PTB.XYZ KO\_BOT.EL R04-R01.DIF 90/90



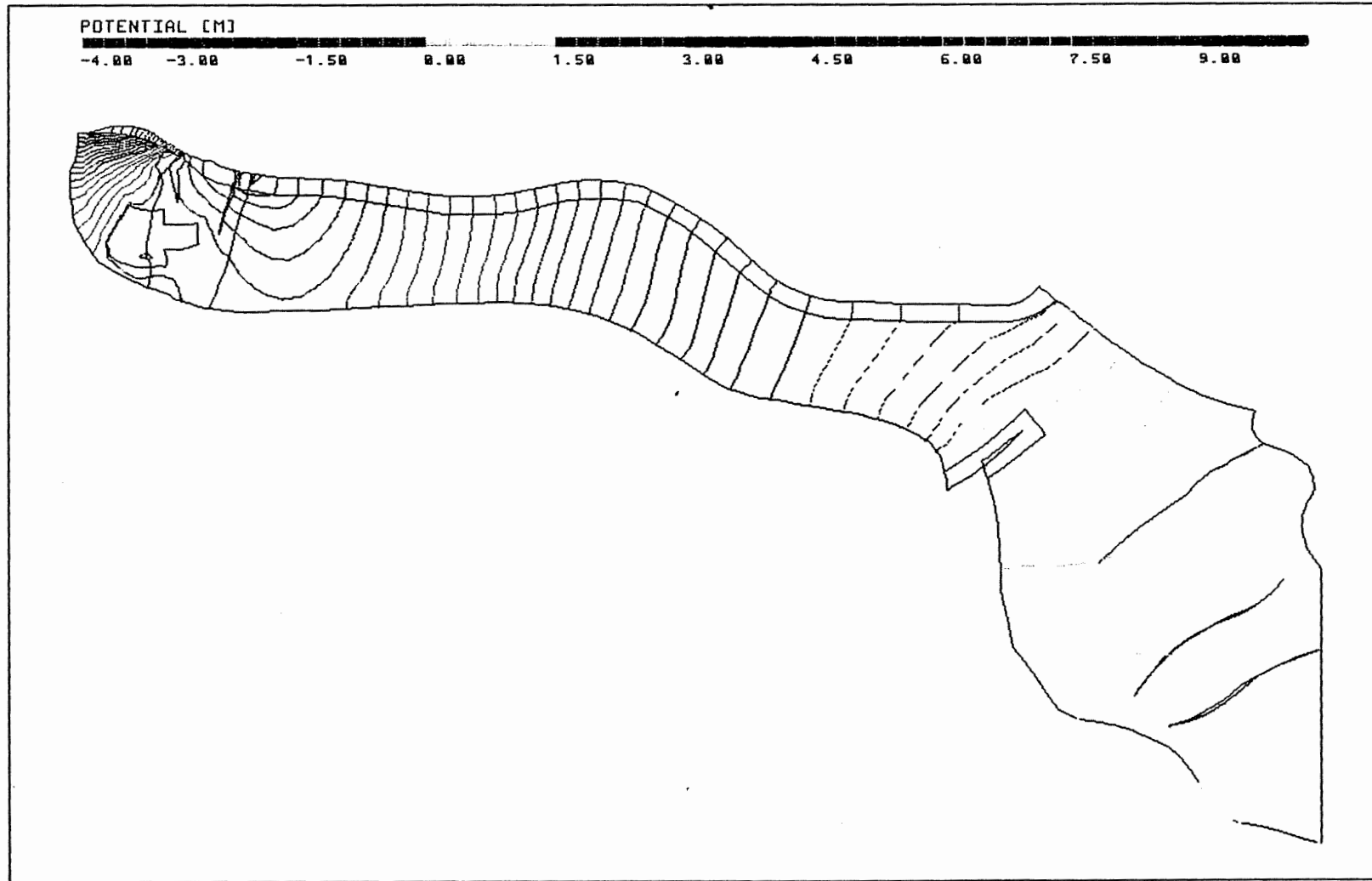
Anh. C4.4.2 Rechenfall R04: Potentialunterschiede R04-R01  
an der Basis des Rhät

PTB,XYZ C\_BOT.EL R04-R01.DIF 90/90



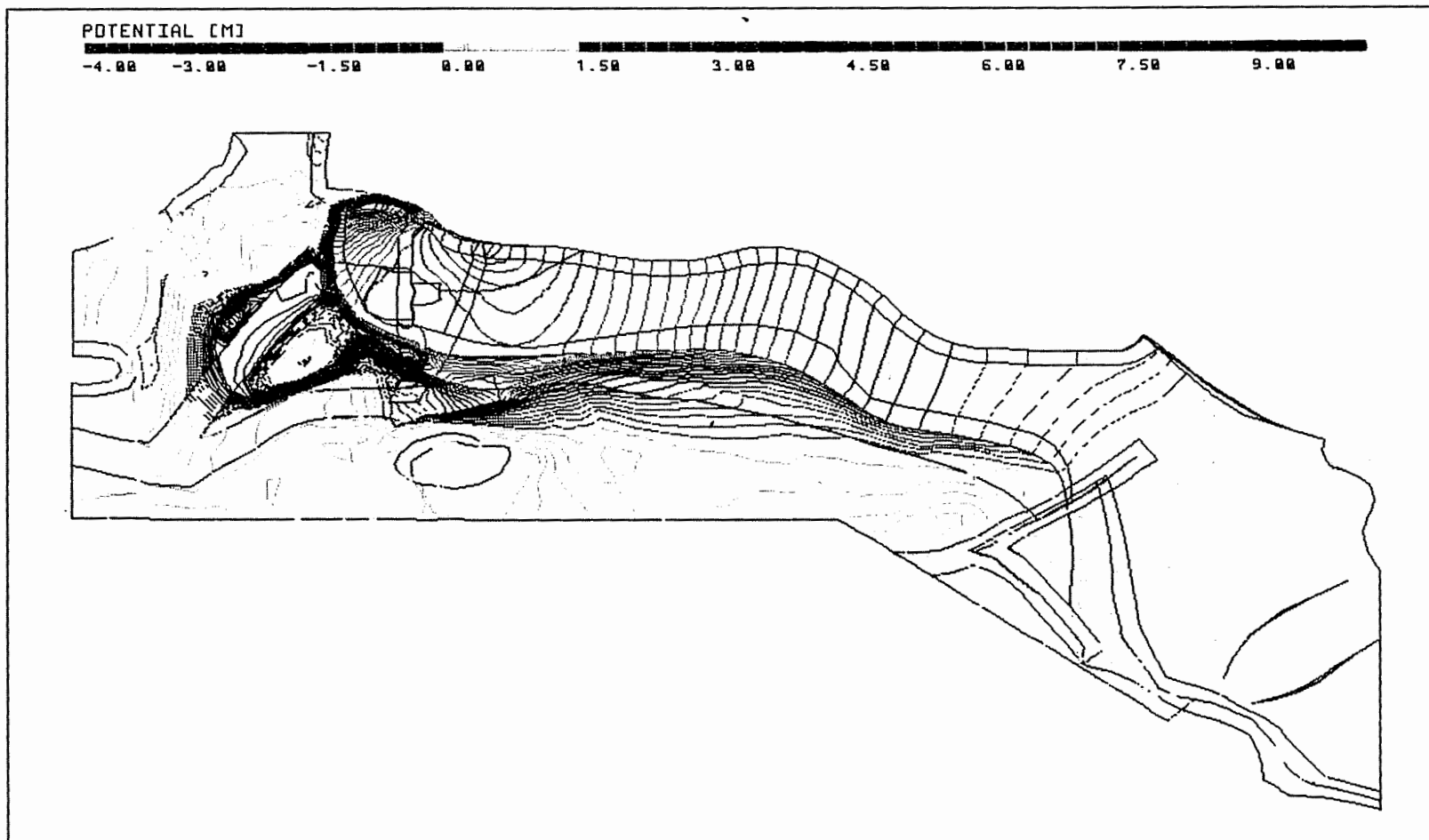
Anh. C4.4.3 Rechenfall R04: Potentialunterschiede R04-R01  
an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ OX\_BOT.EL R04-R01.DIF 90/90



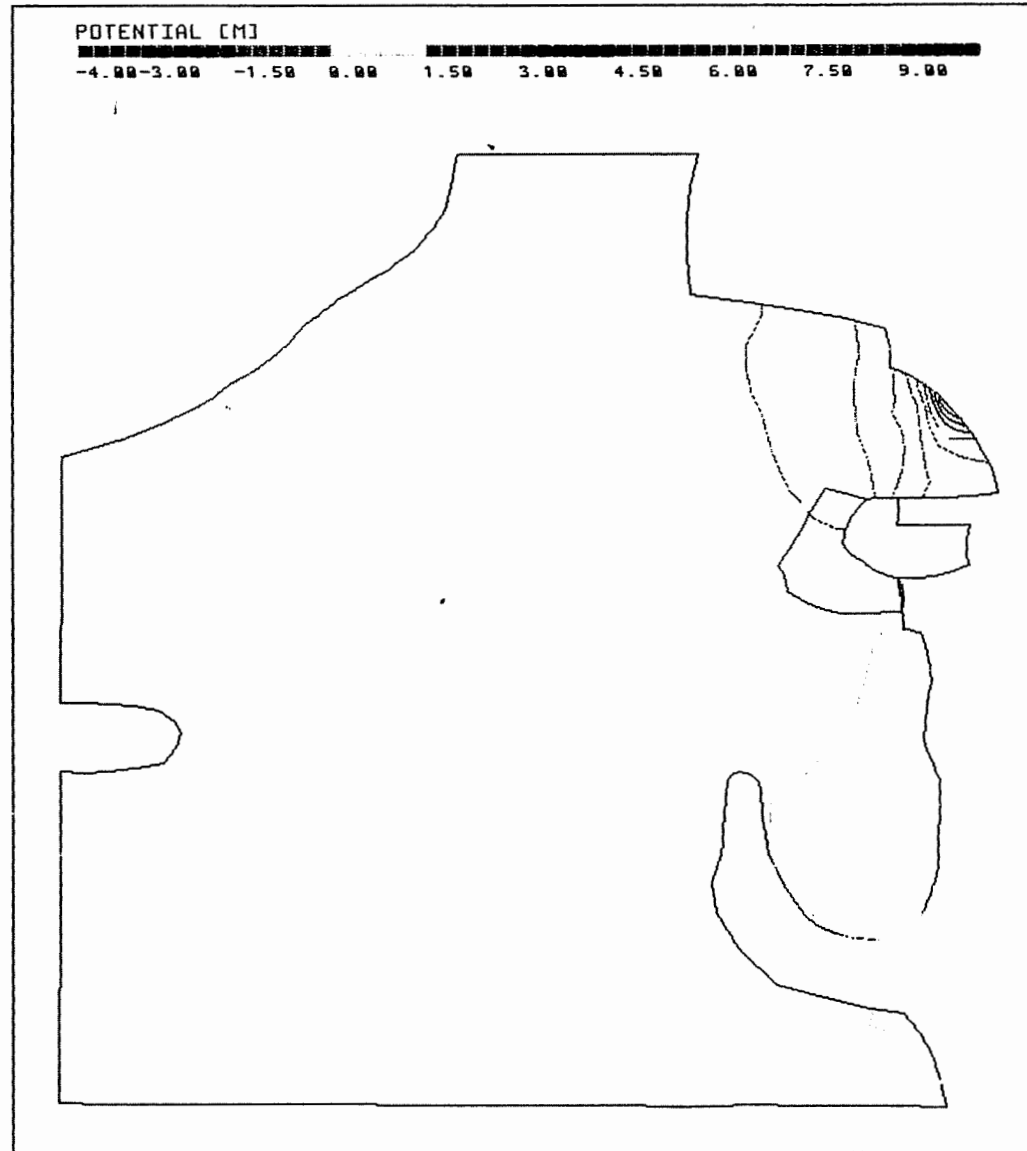
ANH. C4.4.4 Rechenfall R04: Potentialunterschiede R04-R01  
an der Basis des Oxford

PTB,XYZ KRU\_BOT.EL R04-R01.DIF 90/90



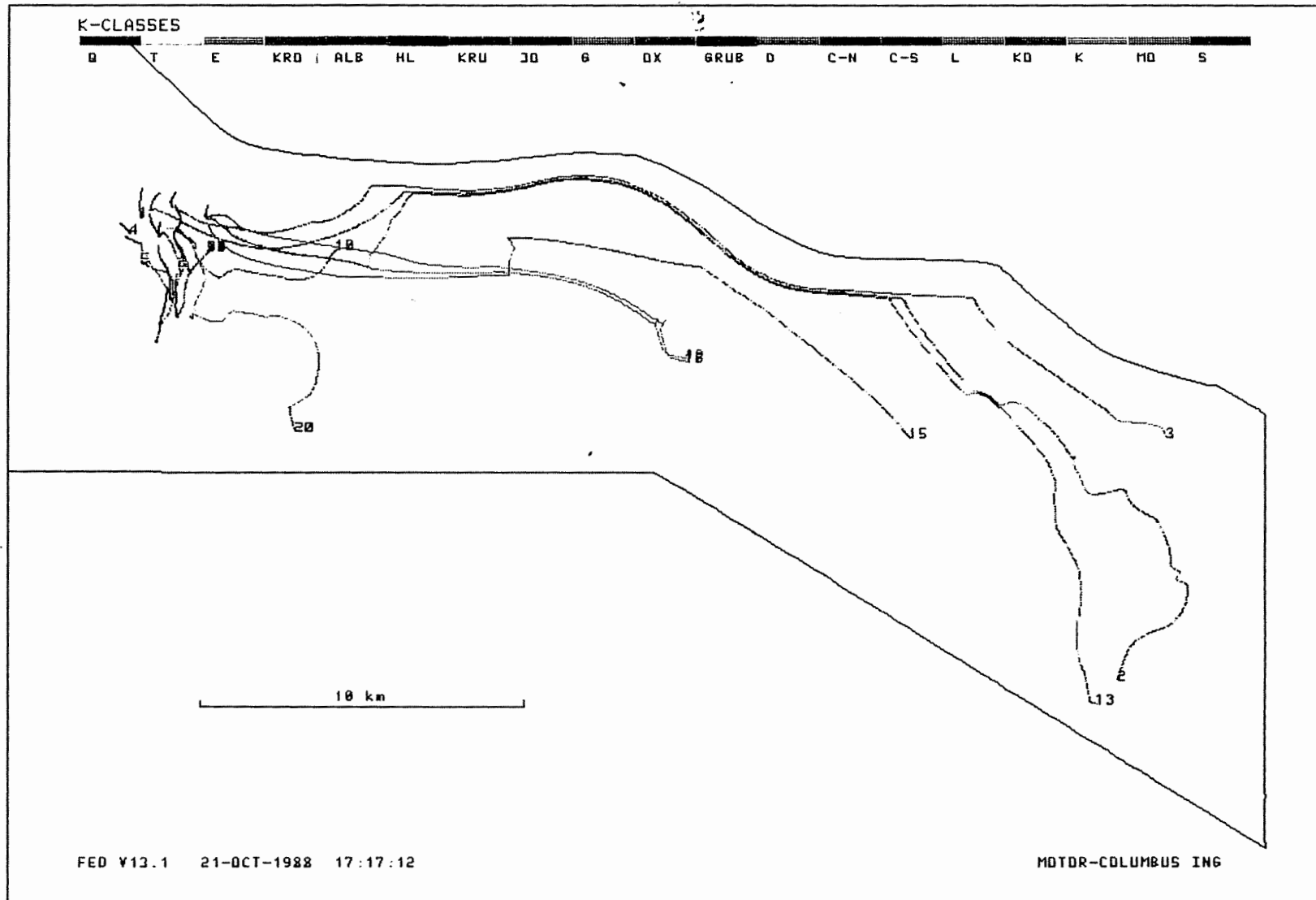
Anh. C4.4.5 Rechenfall R04: Potentialunterschiede R04-R01  
an der Basis der Unterkreide

PTB.XYZ HL\_BOT.EL R04-R01.DIF 90/90



Anh. C4.4.6 Rechenfall R04: Potentialunterschiede R04-R01  
an der Basis des Hilssandsteins

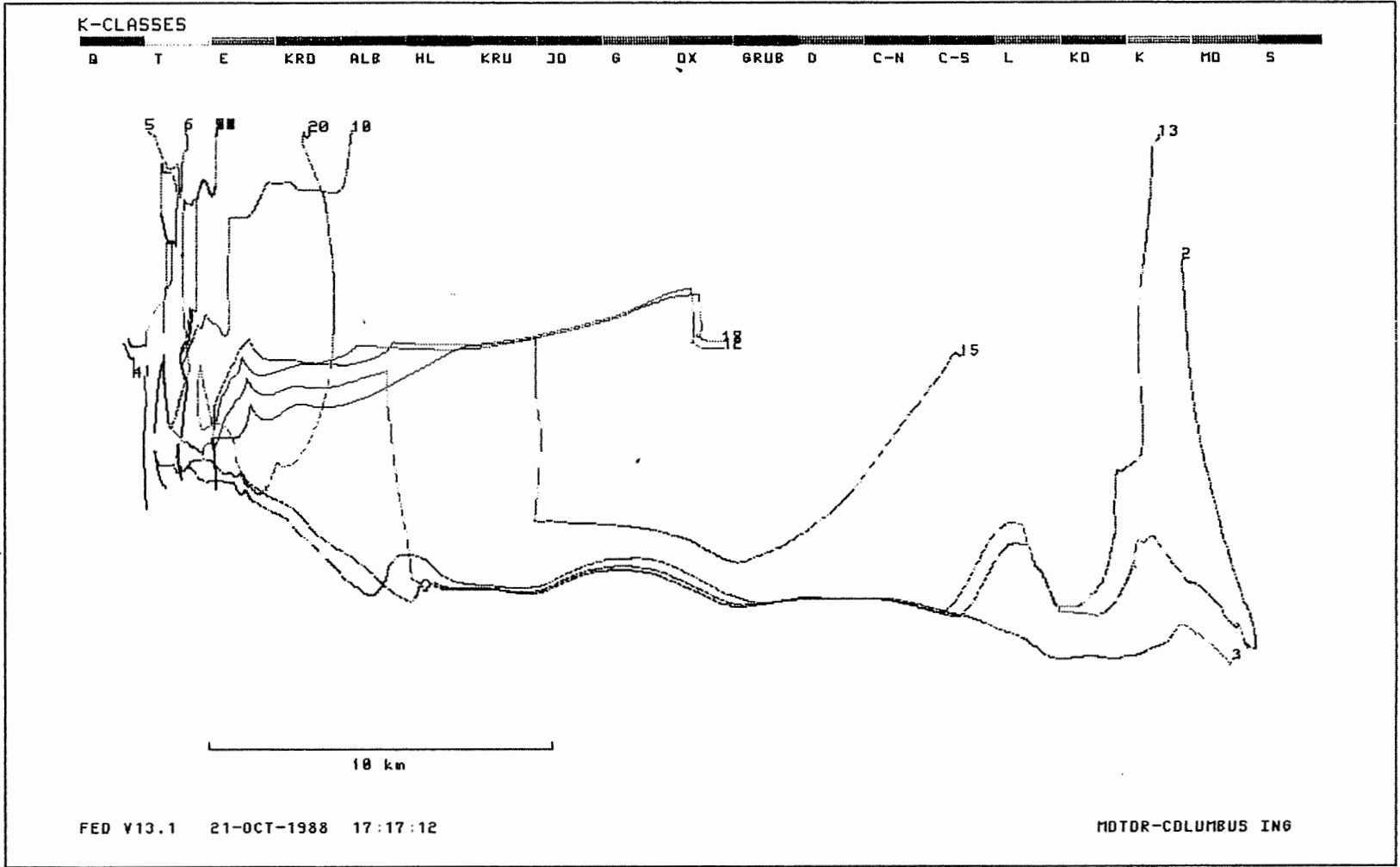
R04: FLIESSWEGE (GRUNDRISS)



Anh. C4.5.1 Rechenfall R04: Fließwege im Grundriss

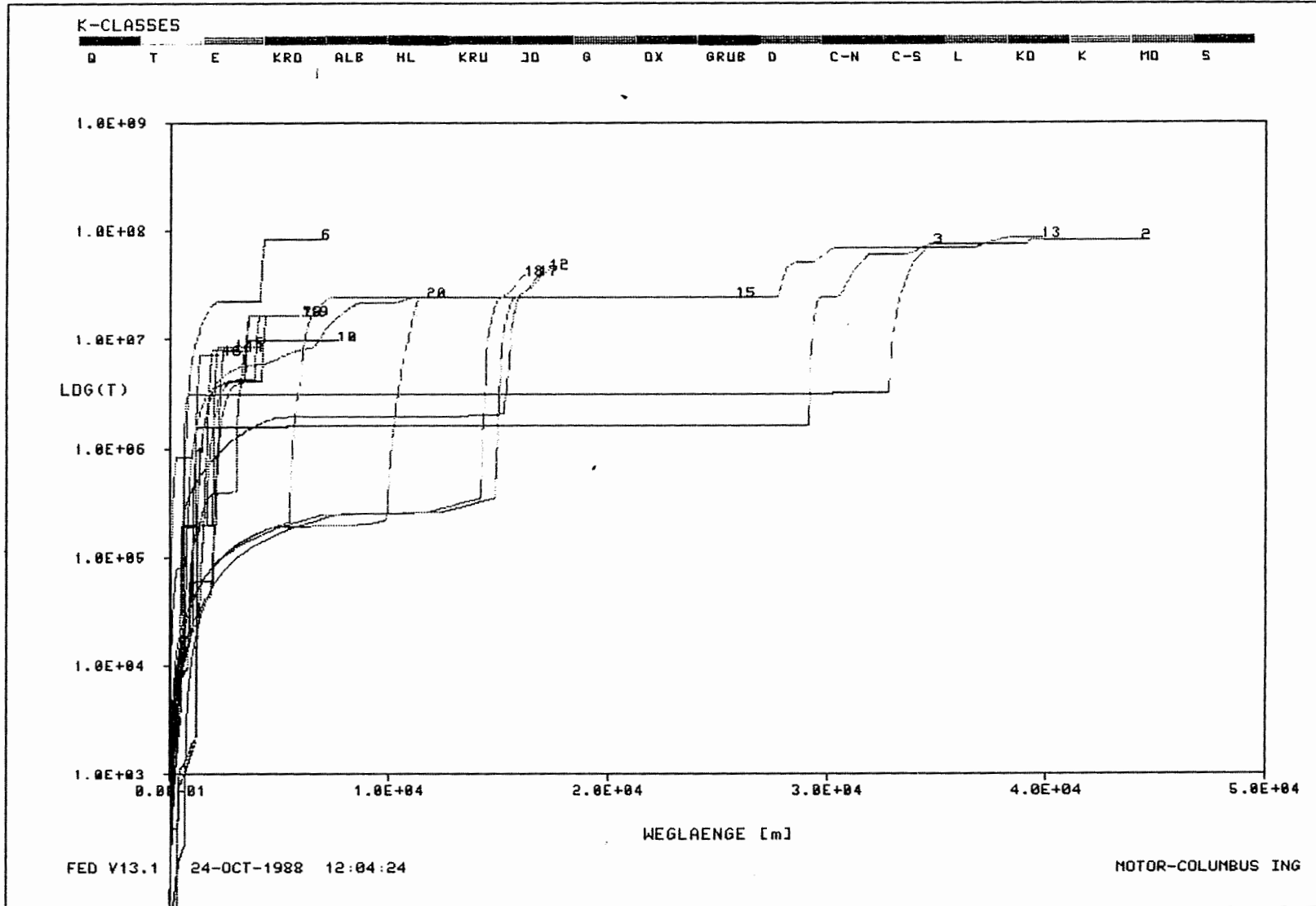


R04: FLIESSWEGE (AUFRISS, 8-FACH UEBERHOEHT)



Anh. C4.5.2 Rechenfall R04: FlieSSwege im Aufriss

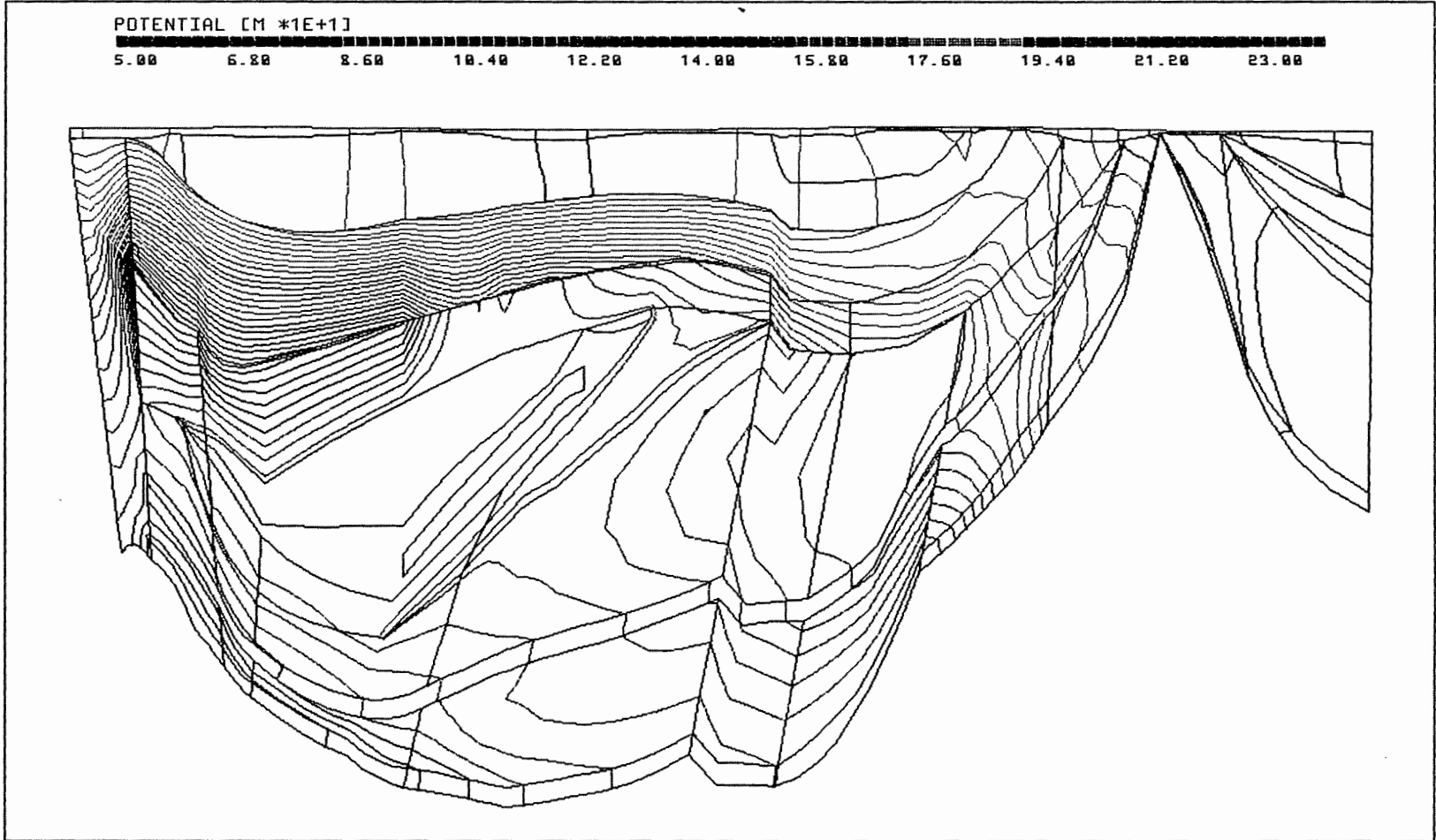
R04: WEG-ZEIT-DIAGRAMM DER FIESSWEGE



Anh. C4.5.3 Rechenfall R04: Weg-Zeit-Diagramm der Fließwege  
(Zeit im logarithmischen Massstab)

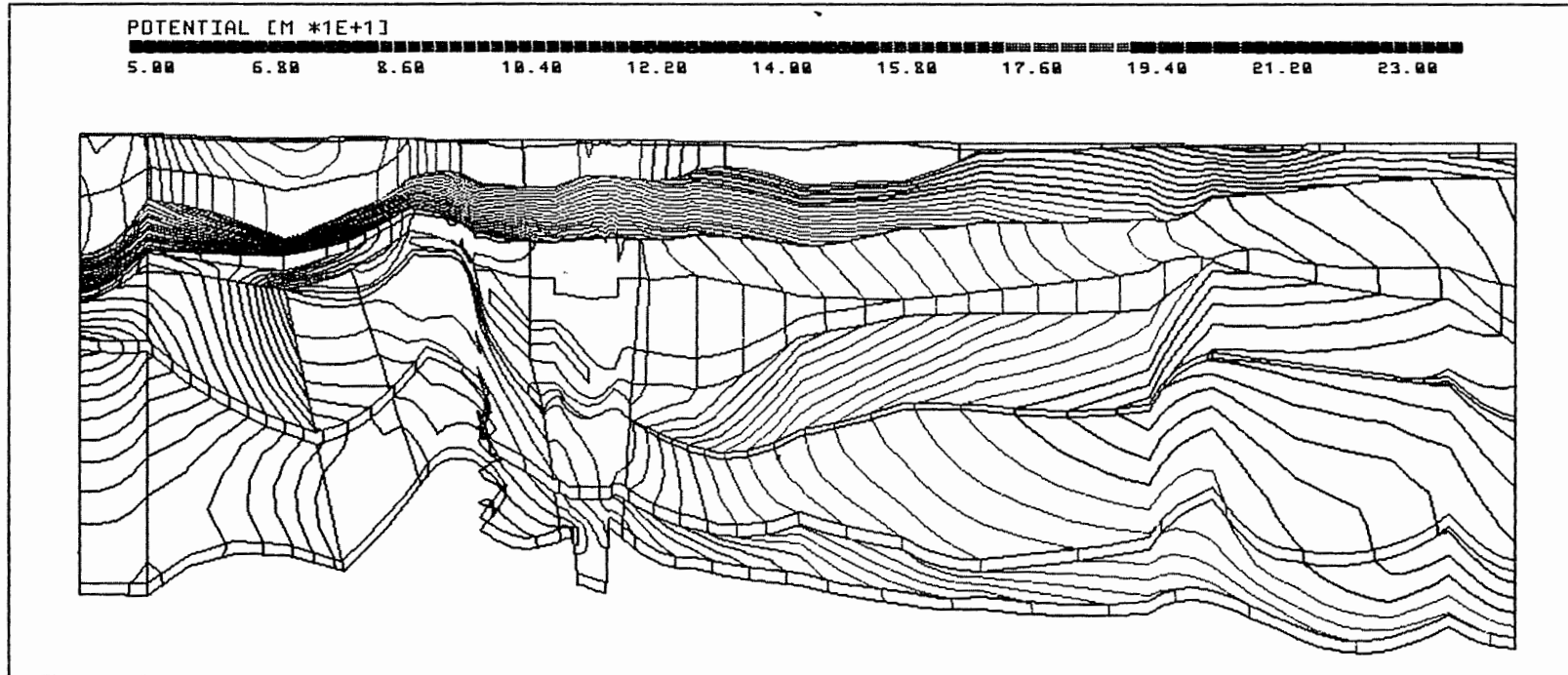
- 5                   **Rechenfall R05**
- 5.1               Potentiale, Schnitte
- 5.1.1            Schnitt 4
- 5.1.2            Schnitt 8-9
- 5.1.3            Schnitt 12
- 5.2               Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 5.2.1            Basis Cornbrash-Sandstein
- 5.2.2            Basis Oxford
- 5.2.3            Basis Unterkreide
- 5.3               Potentialunterschiede R05-R01, Schnitte
- 5.3.1            Schnitt 4
- 5.3.2            Schnitt 5
- 5.3.3            Schnitt 8-9
- 5.4               Potentialunterschiede R05-R01, Basisflächen von Schichteinheiten
- 5.4.1            Basis Oberer Muschelkalk
- 5.4.2            Basis Rhät
- 5.4.3            Basis Cornbrash-Sandstein
- 5.4.4            Basis Oxford
- 5.4.5            Basis Unterkreide
- 5.4.6            Basis Hilssandstein
- 5.5               Fließwege
- 5.5.1            Grundriss
- 5.5.2            Aufriss
- 5.5.3            Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL PTB\_R05.RES 177/0



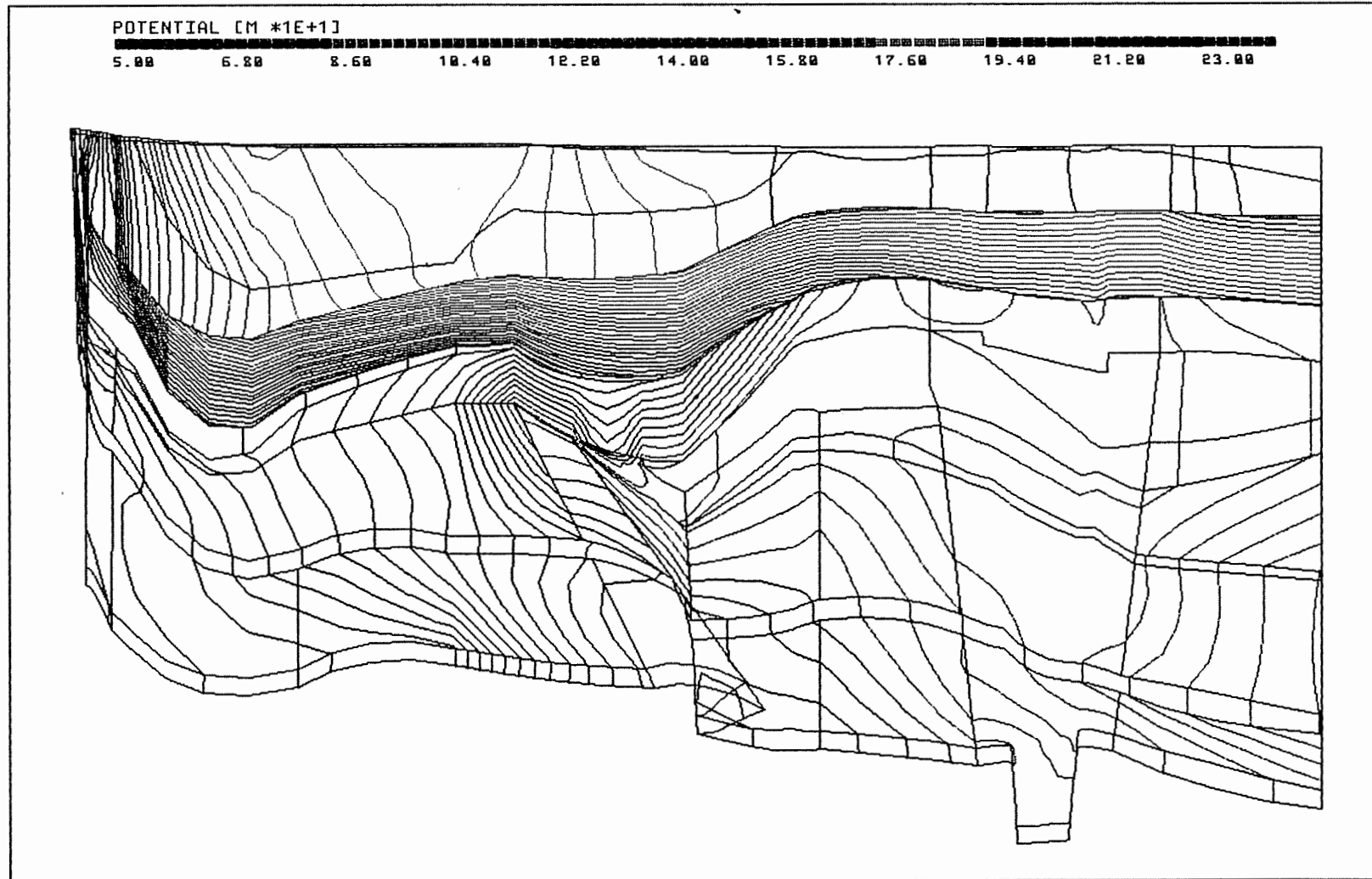
Anh. C5.1.1 Rechenfall R05: Potentiale im Schnitt 4

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL PTB\_R05.RES 96/0



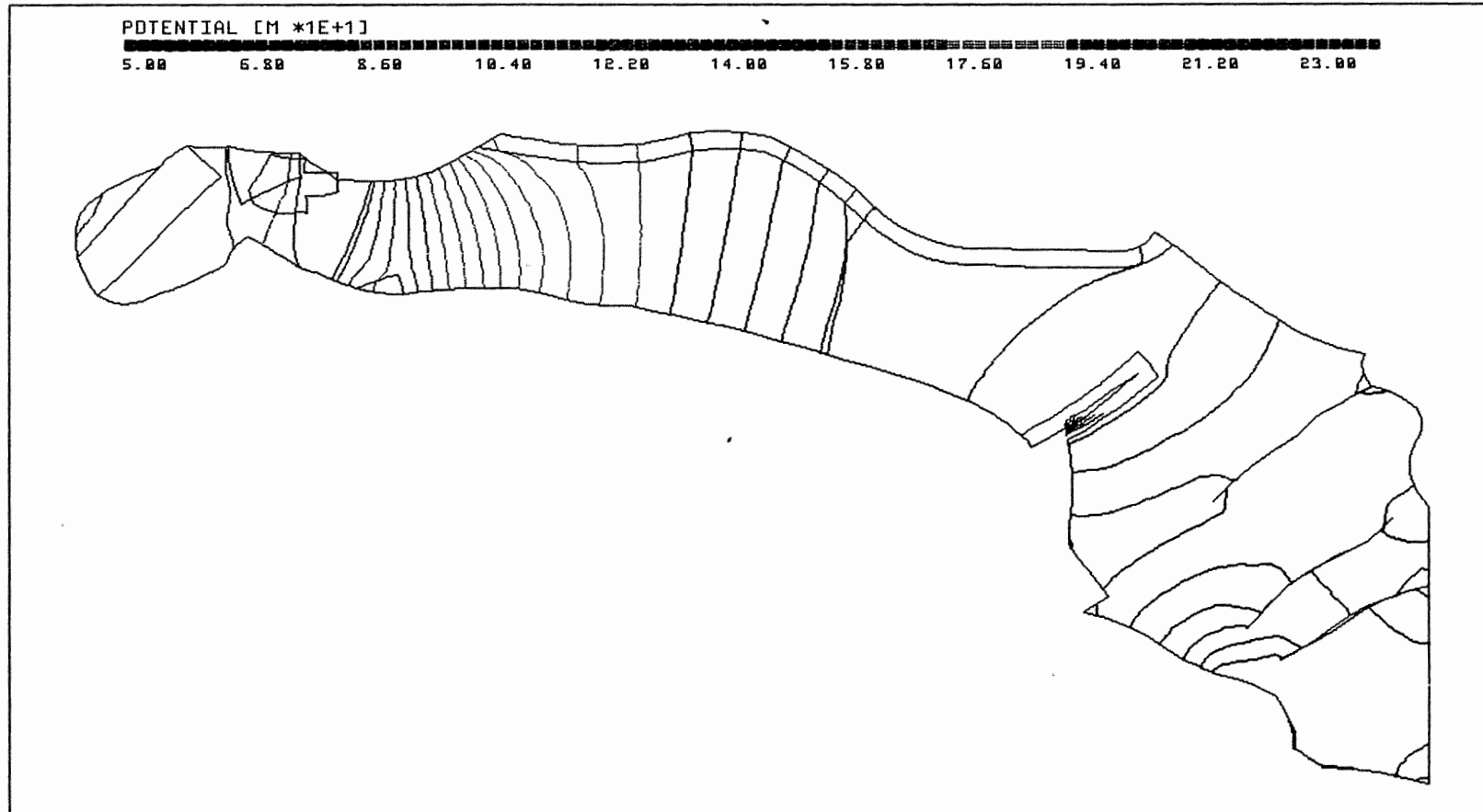
Anh. C5.1.2 Rechenfall R05: Potentiale im Schnitt 8-9

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT12.EL PTB\_R05.RES 111/0



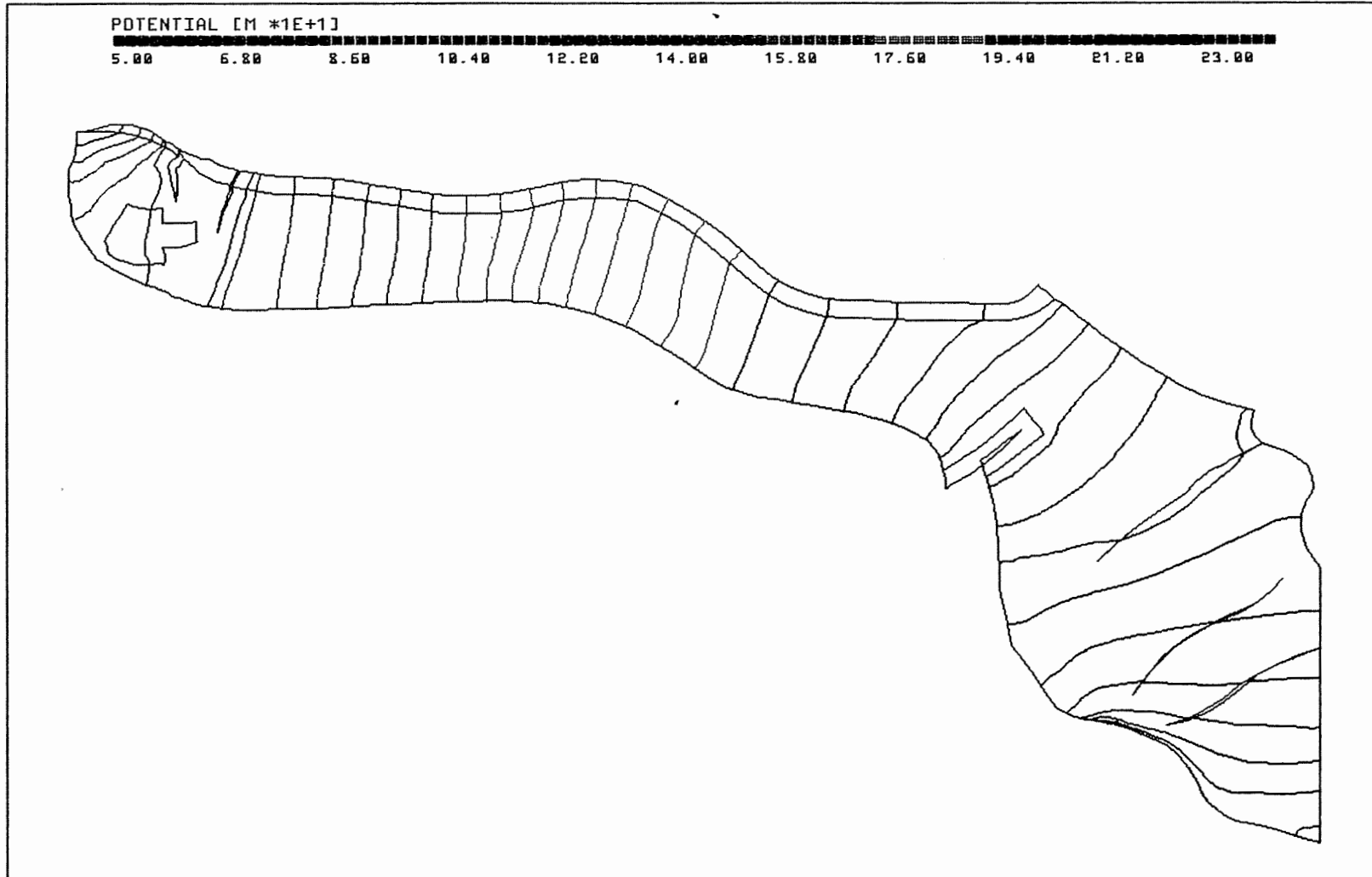
Anh. C5.1.3 Rechenfall R05: Potentiale im Schnitt 12

PTB.XYZ C\_BOT.EL PTB\_R05.RES 90/90



Anh. C5.2.1 Rechenfall R05: Potentiale an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

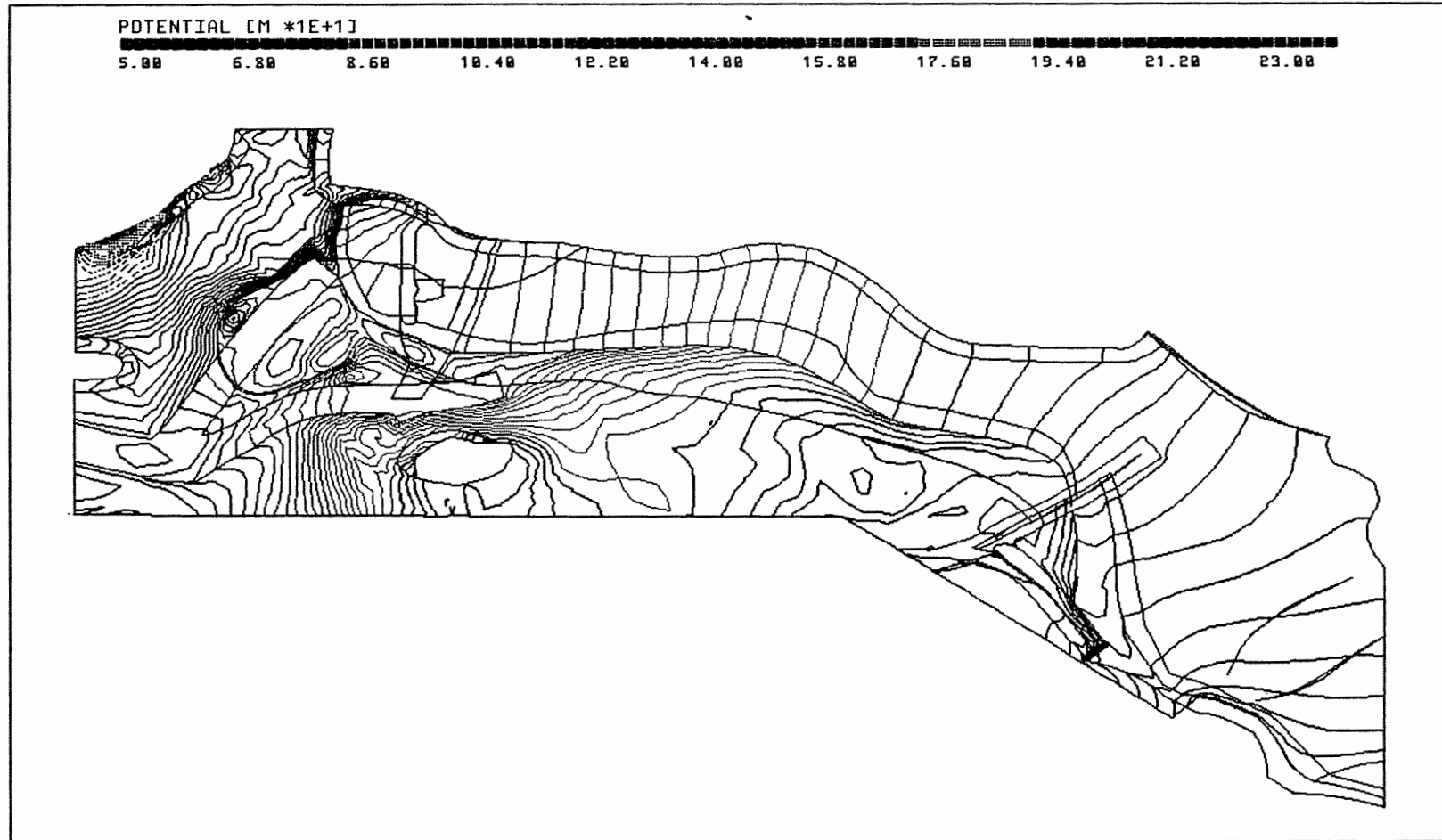
PTB\_XYZ OX\_BOT.EL PTB\_R05.RES 90/90



Anh. C5.2.2 Rechenfall R05: Potentiale an der Basis des Oxford

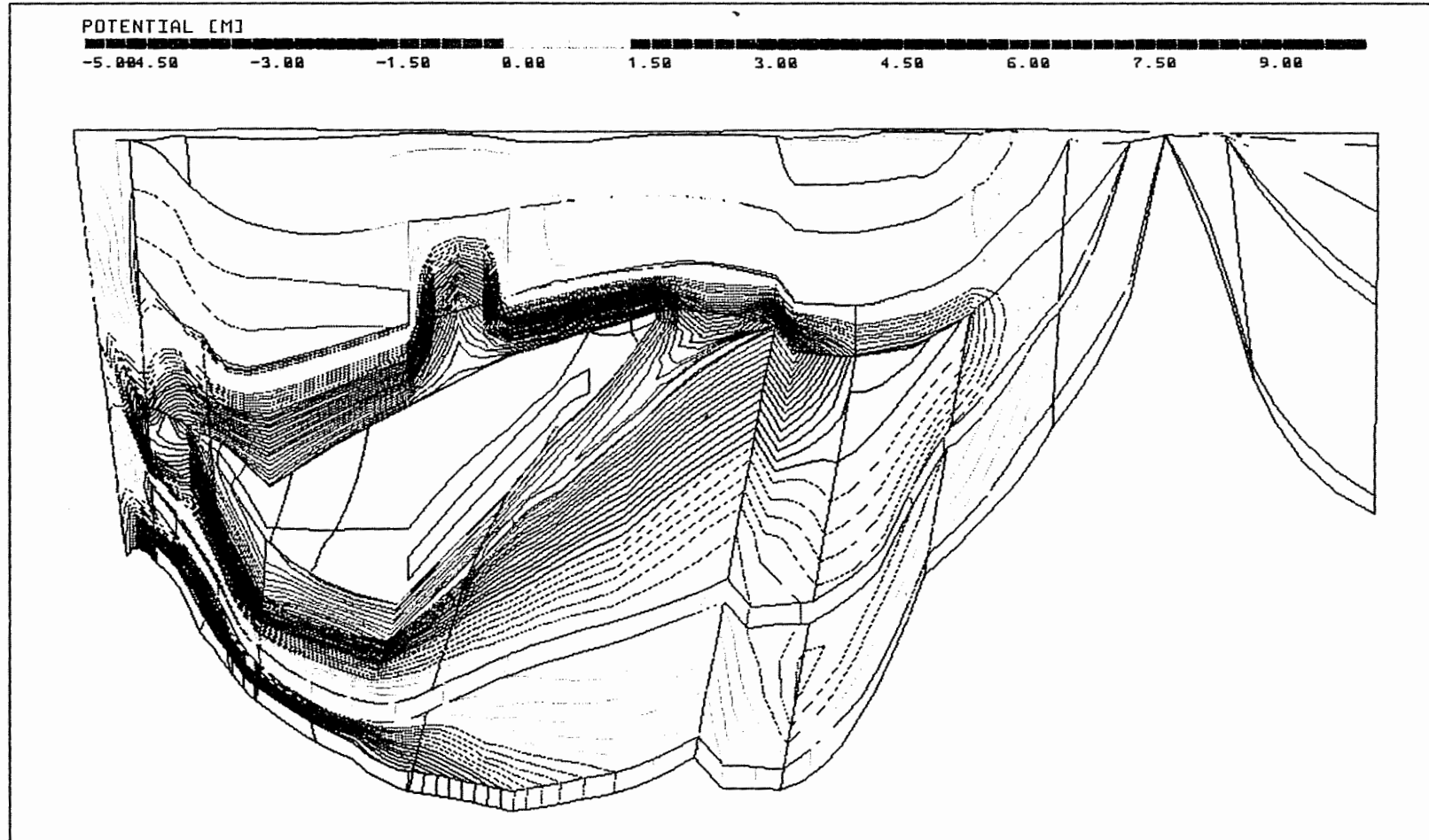


PTB,XYZ KRU\_BOT.EL PTB\_R05.RES 90/90



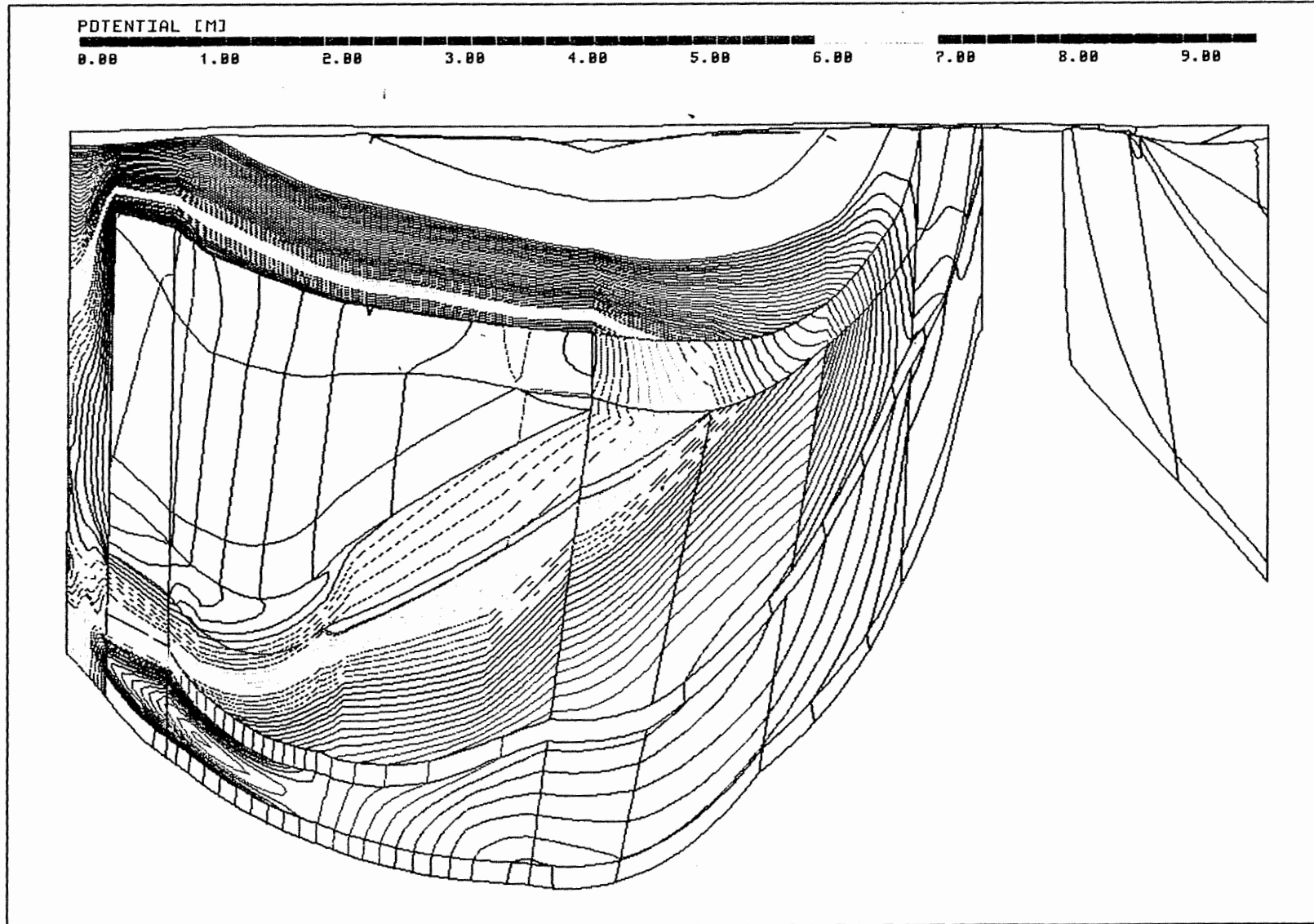
Anh. C5.2.3 Rechenfall R05: Potentiale an der Basis der Unterkreide

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL R05-R01.DIF 177/0



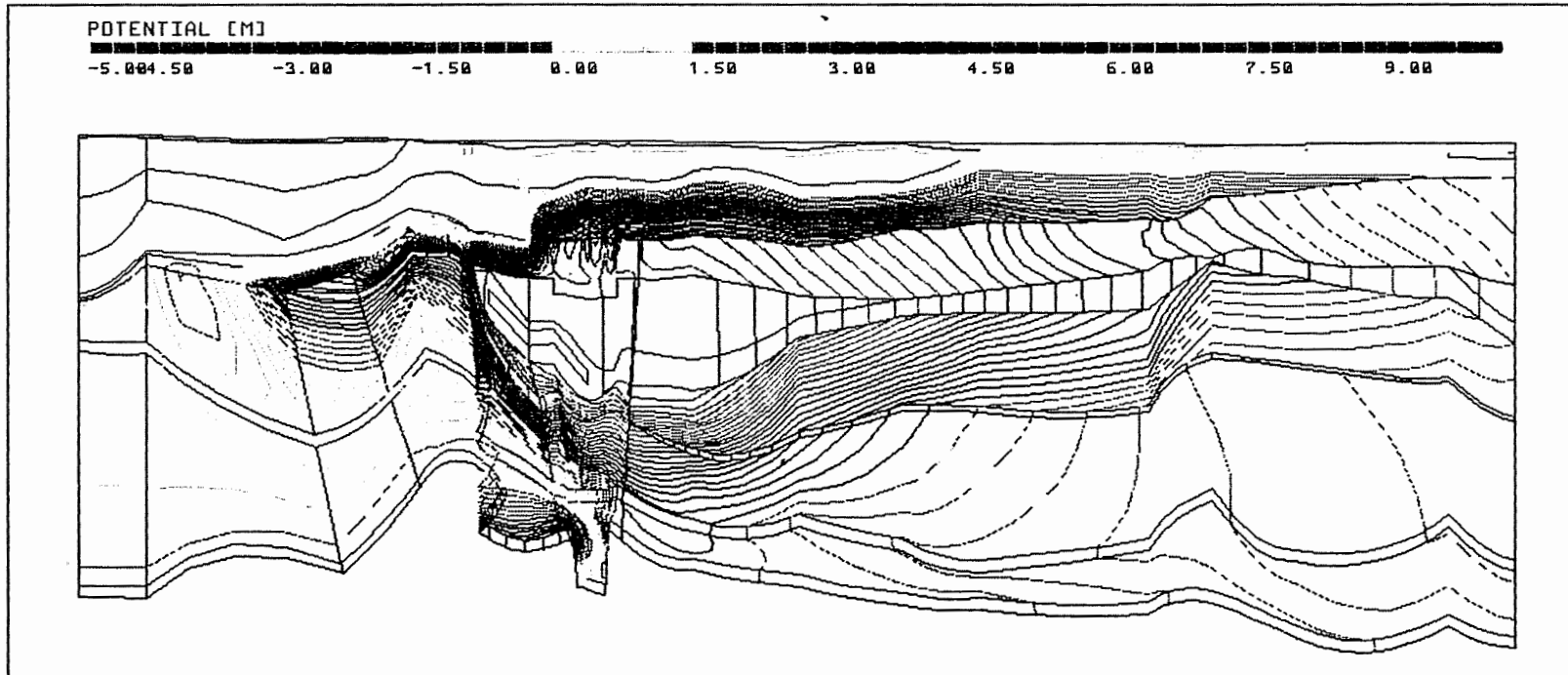
Anh. C5.3.1    Rechenfall R05: Potentialunterschiede R05-R01,  
Schnitt 4

PTB.XYZ(Z\*3.0) SCHNITT5.EL R05-R01.DIF 186/0



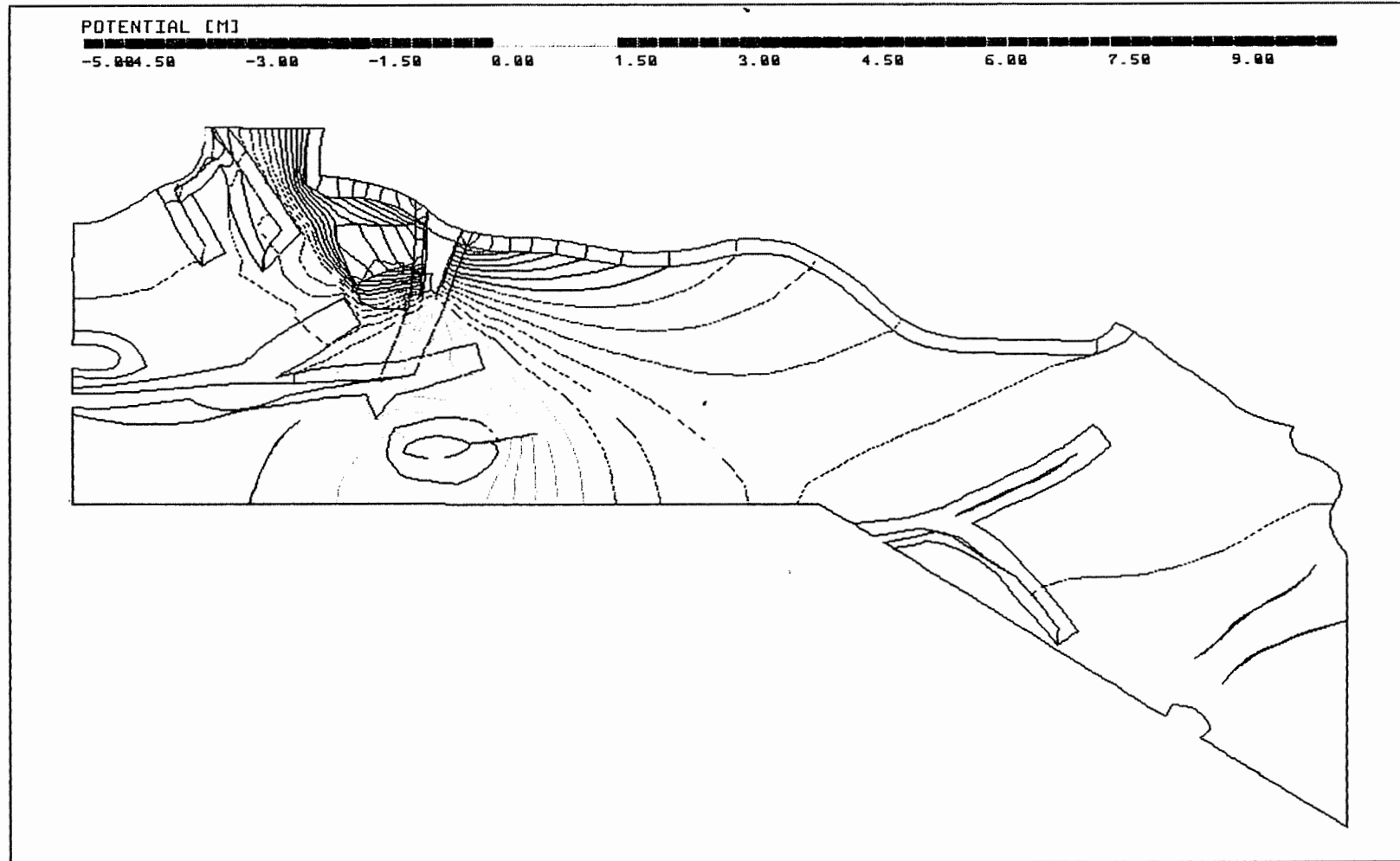
Anh. C5.3.2 Rechenfall R05: Potentialunterschiede R05-R01, Schnitt 5

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL R05-R01.DIF 96/0



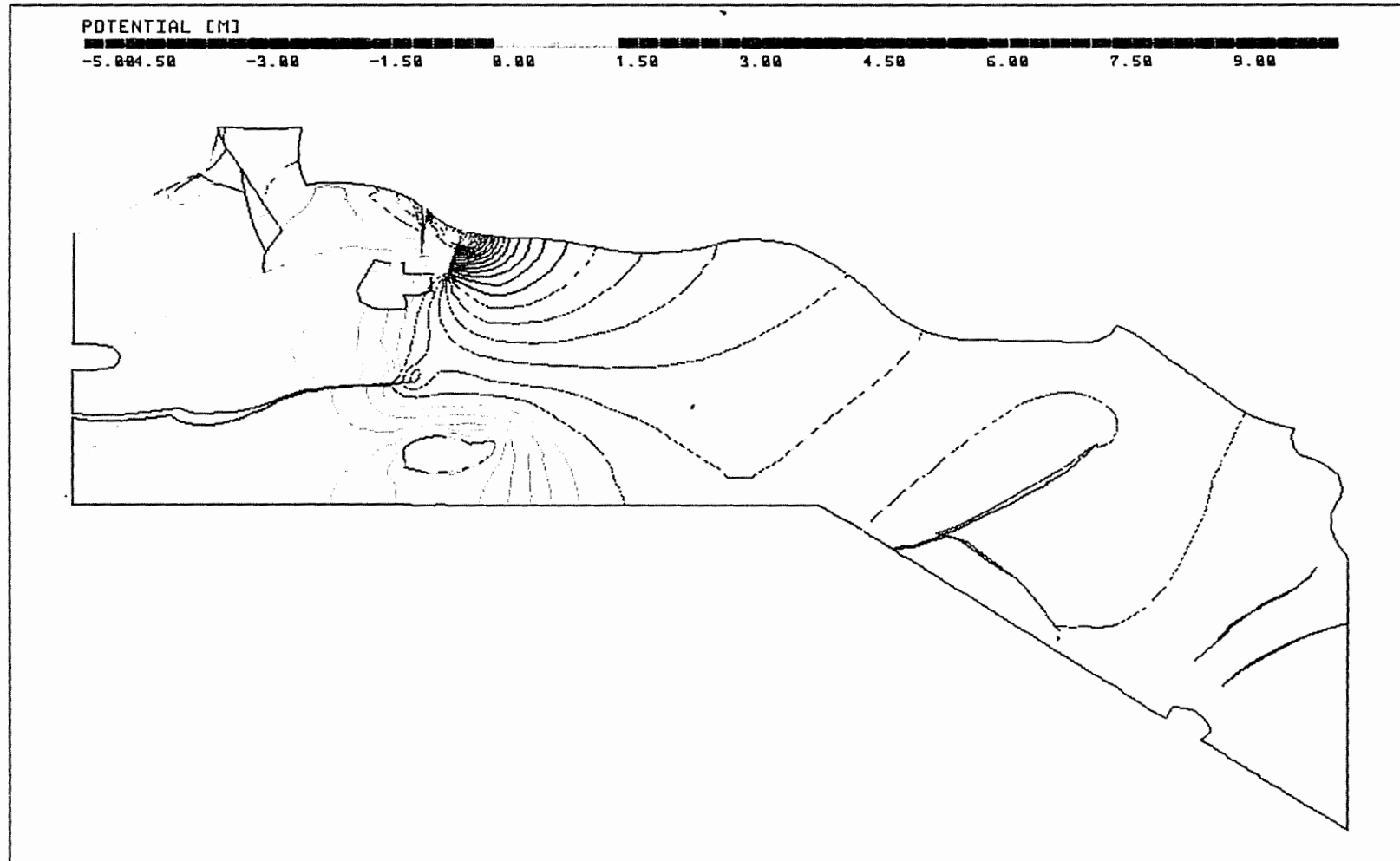
Anh. C5.3.3    Rechenfall R05: Potentialunterschiede R05-R01,  
Schnitt 8-9

PTB.XYZ MO\_BOT.EL R05-R01.DIF 90/90



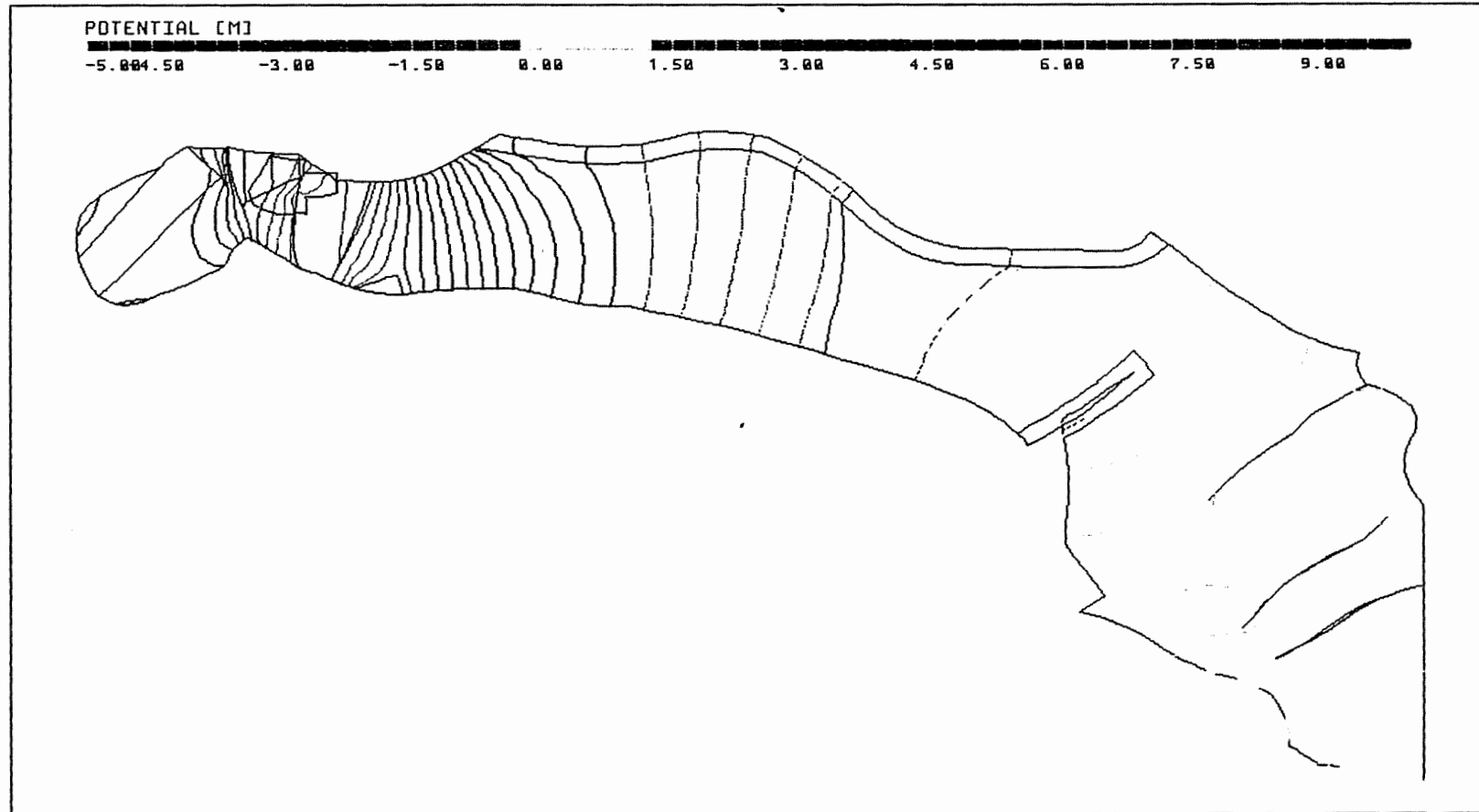
Anh. C5.4.1 Rechenfall R05: Potentialunterschiede R05-R01  
an der Basis des Oberen Muschelkalks

PTB.XYZ KO\_BOT.EL R05-R01.DIF 90/90



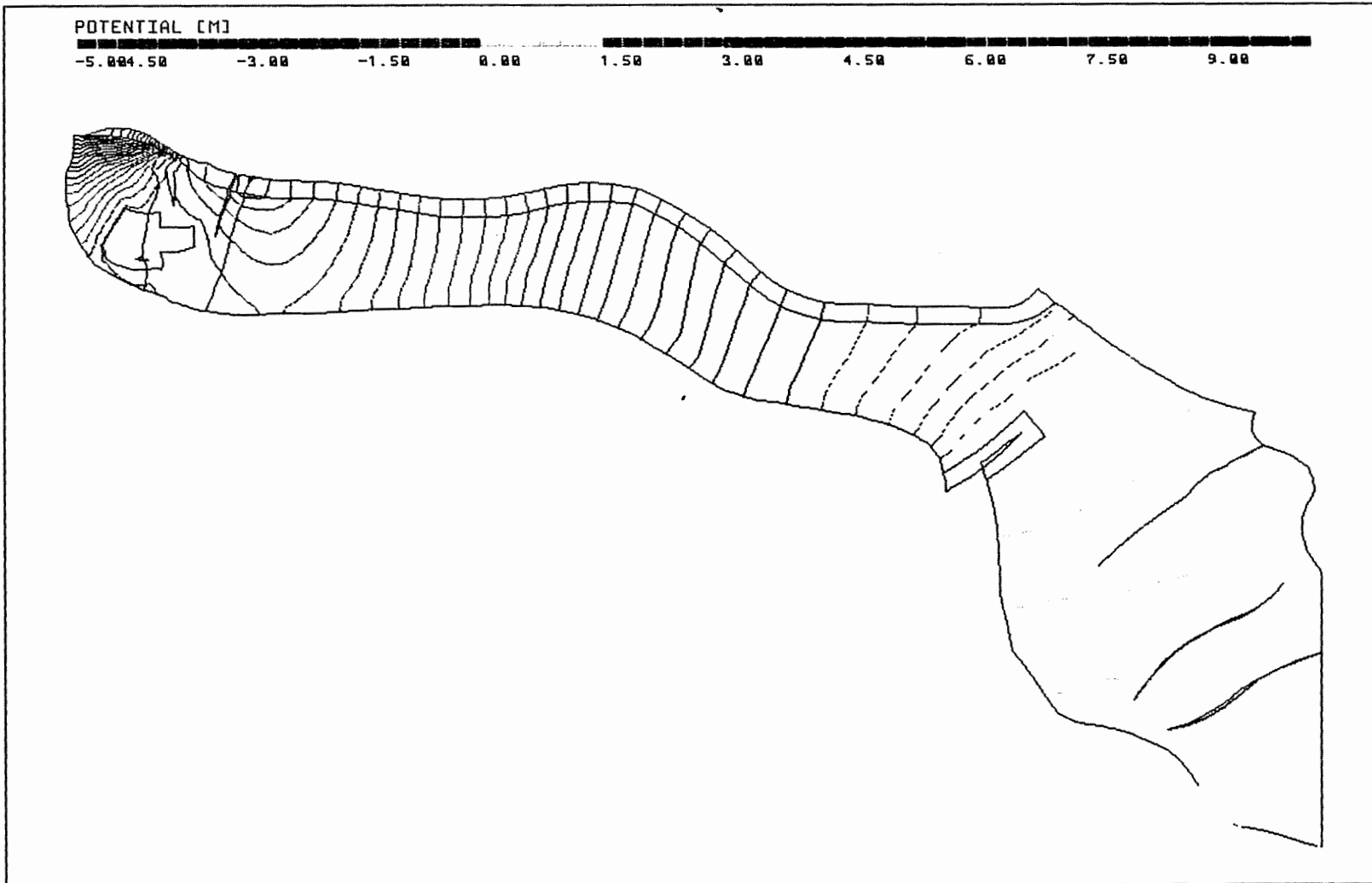
Anh. C5.4.2 Rechenfall R05: Potentialunterschiede R05-R01  
an der Basis des Rhät

PTB.XYZ C\_BOT.EL R05-R01.DIF 90/90



Anh. C5.4.3 Rechenfall R05: Potentialunterschiede R05-R01  
an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

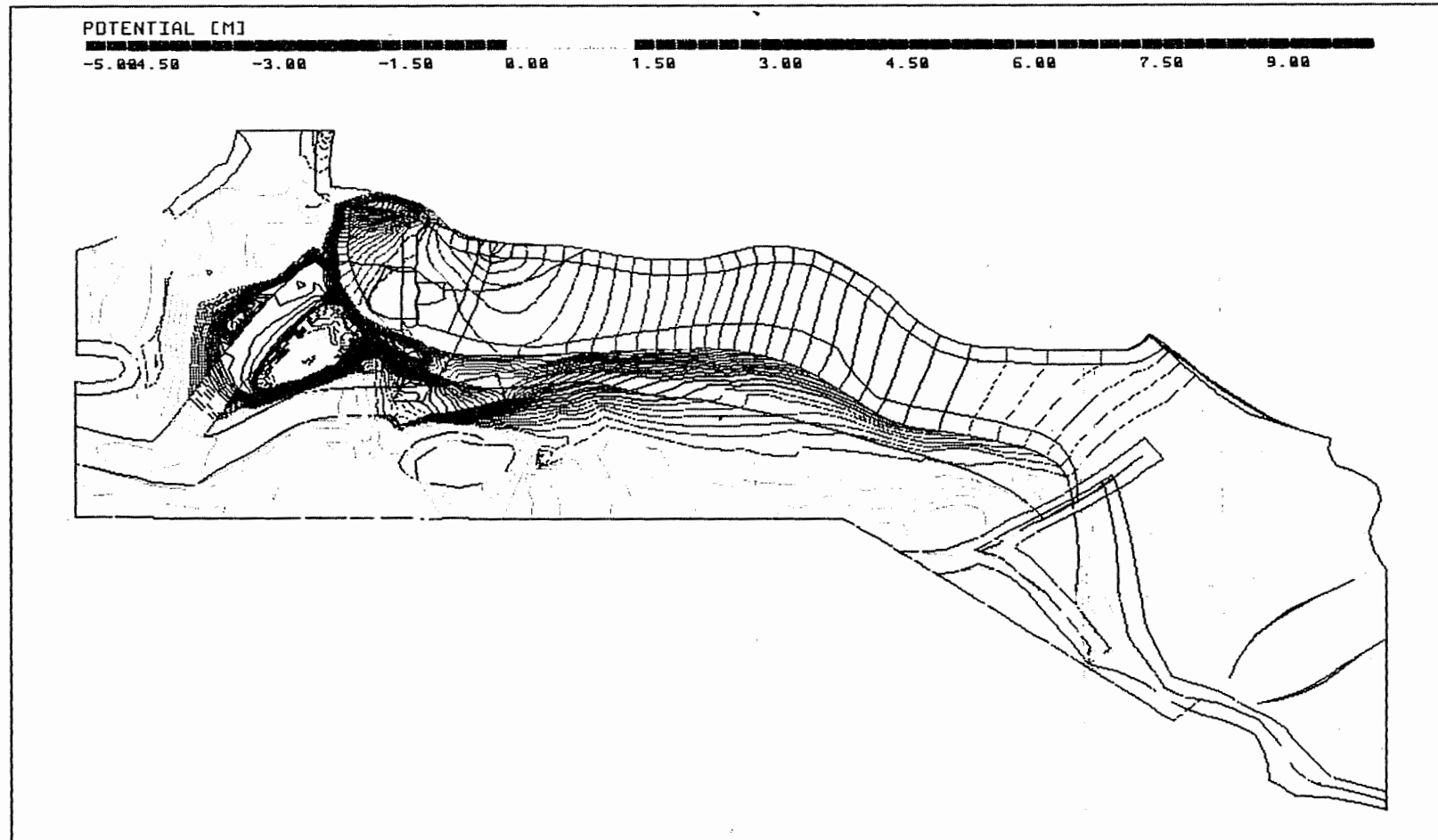
PTB.XYZ OX\_BOT.EL R05-R01.DIF 90/90



Anh. C5.4.4 Rechenfall R05: Potentialunterschiede R05-R01  
an der Basis des Oxford



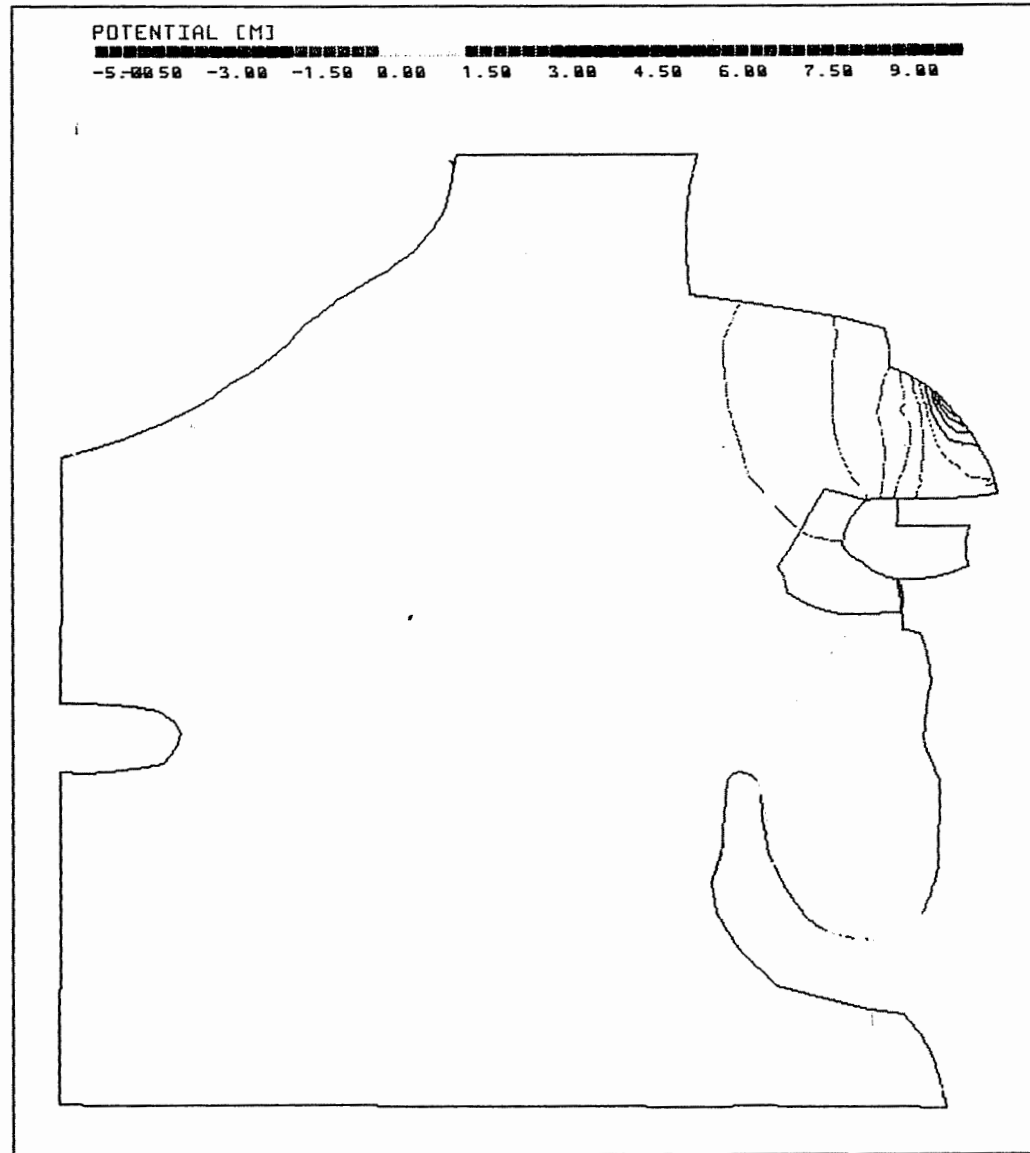
PTB.XYZ KRU\_BOT.EL R05-R01.DIF 90/90



Anh. C5.4.5 Rechenfall R05: Potentialunterschiede R05-R01  
an der Basis der Unterkreide

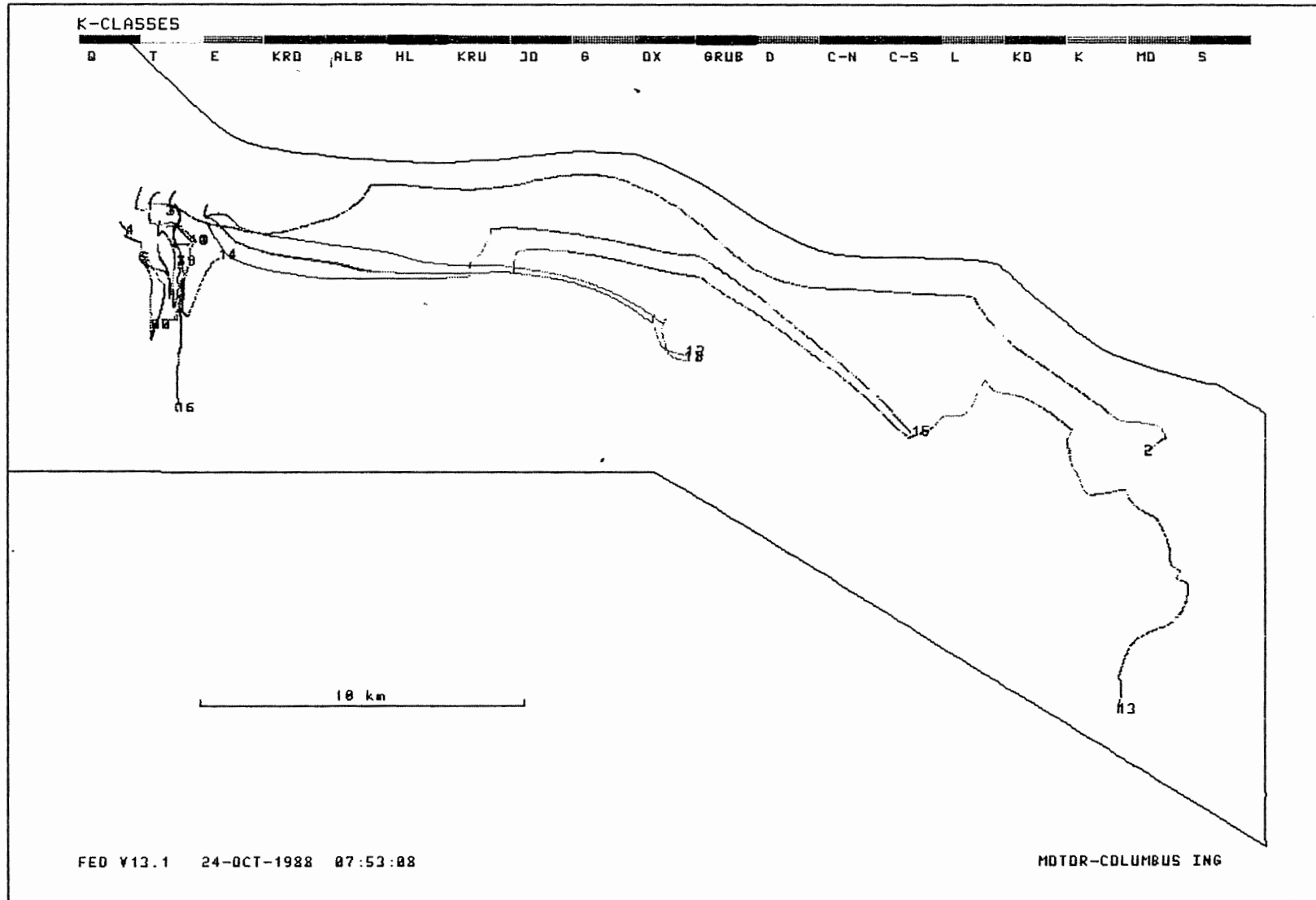
||

PTB.XYZ HL\_BOT.EL R05-R01.DIF 90/90



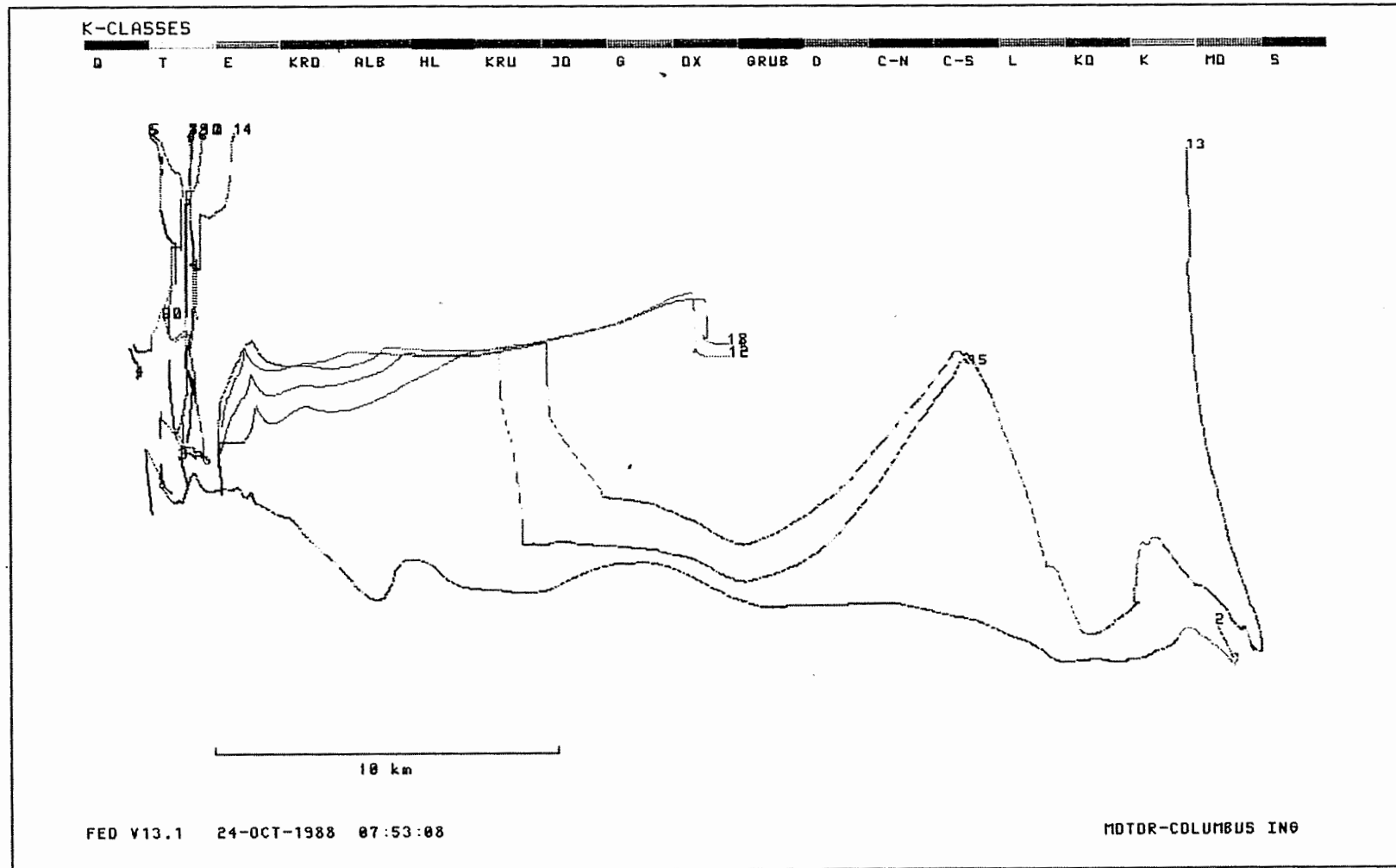
Anh. C5.4.6 Rechenfall R05: Potentialunterschiede R05-R01  
an der Basis des Hilssandsteins

R05: FLIESSWEGE (GRUNDRISS)



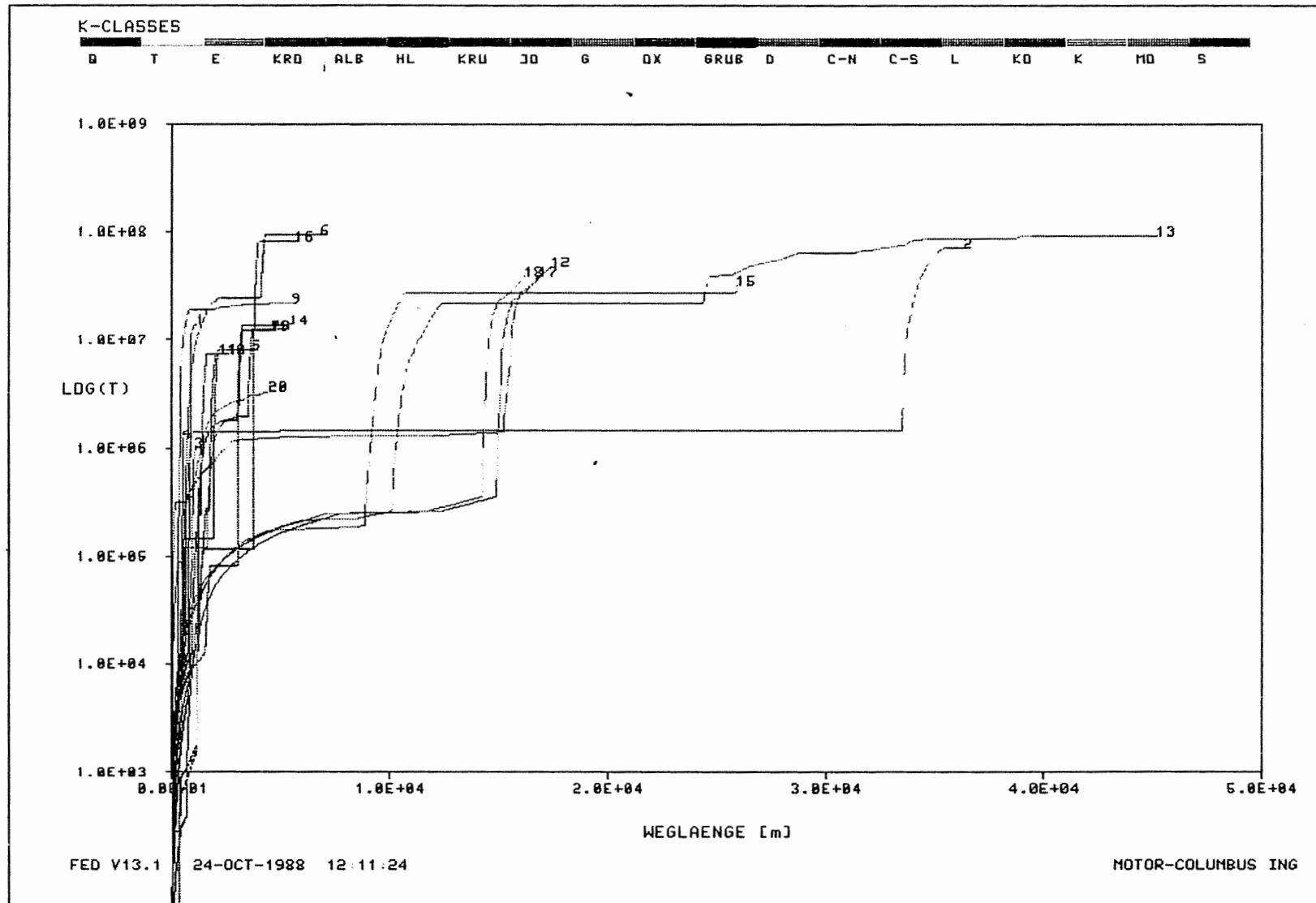
Anh. C5.5.1 Rechenfall R05: Fließwege im Grundriss

R05: FLIESSWEGE (AUFRISS, 8-FACH UEBERHOEHT)



Anh. C5.5.2 Rechenfall R05: Fließwege im Aufriss

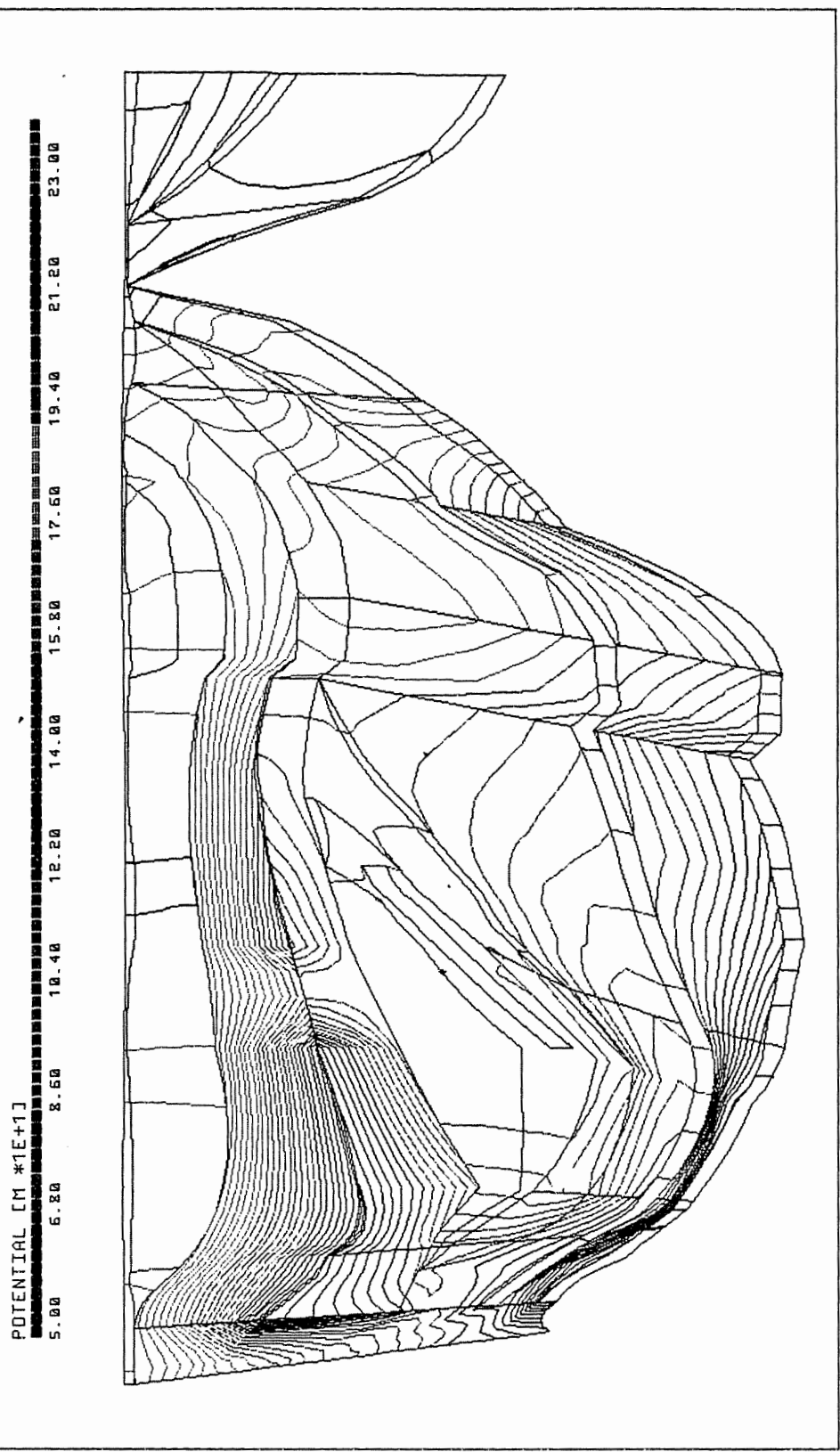
R05: WEG-ZEIT-DIAGRAMM DER FIESSWEGE



Anh. C5.5.3 Rechenfall R05: Weg-Zeit-Diagramm der Fliesswege  
(Zeit im logarithmischen Massstab)

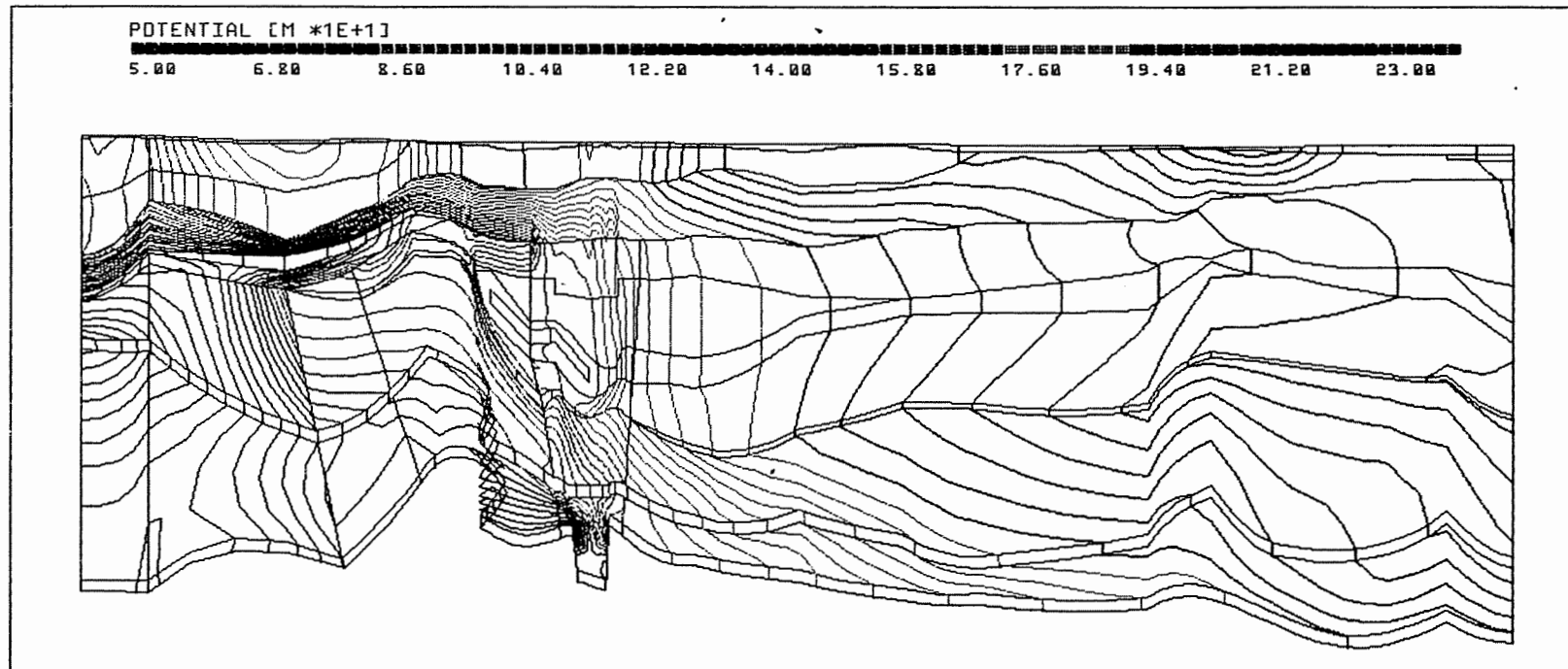
- 6                   **Rechenfall R06**
- 6.1               Potentiale, Schnitte
- 6.1.1            Schnitt 4
- 6.1.2            Schnitt 8-9
- 6.1.3            Schnitt 12
- 6.2               Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten
- 6.2.1            Basis Cornbrash-Sandstein
- 6.2.2            Basis Oxford
- 6.2.3            Basis Unterkreide
- 6.3               Potentialunterschiede R06-R01, Schnitte
- 6.3.1            Schnitt 4
- 6.3.2            Schnitt 5
- 6.3.3            Schnitt 8-9
- 6.4               Potentialunterschiede R06-R01, Basisflächen von Schichteinheiten
- 6.4.1            Basis Oberer Muschelkalk
- 6.4.2            Basis Rhät
- 6.4.3            Basis Cornbrash-Sandstein
- 6.4.4            Basis Oxford
- 6.4.5            Basis Unterkreide
- 6.4.6            Basis Hilssandstein
- 6.5               Fliesswege
- 6.5.1            Grundriss
- 6.5.2            Aufriss
- 6.5.3            Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL PTB\_R06.RES 177/0



Anh. C6.1.1 Rechenfall R06: Potentiale im Schnitt 4

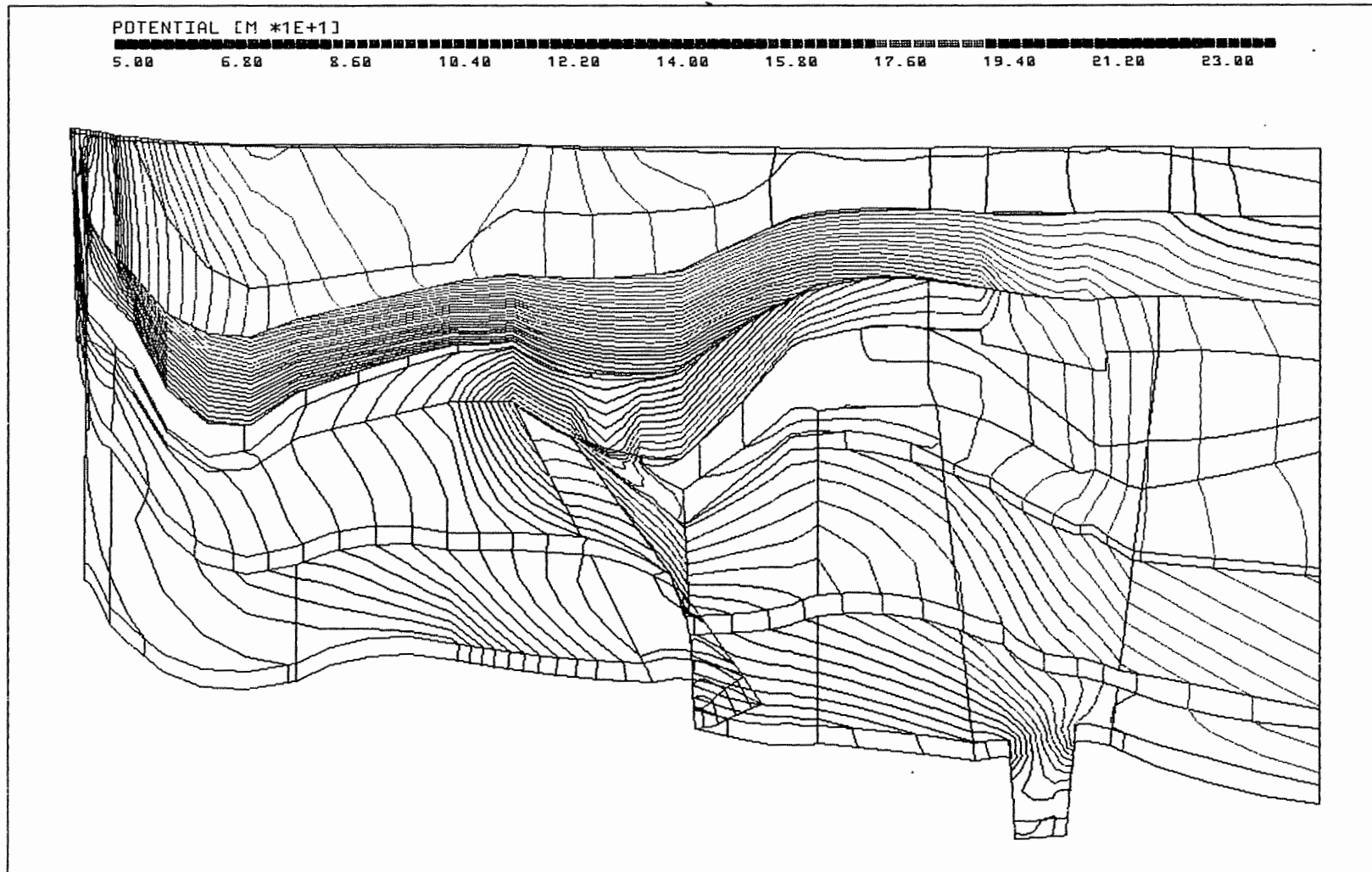
PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL PTB\_R06.RES 96/0



Anh. C6.1.2 Rechenfall R06: Potentiale im Schnitt 8-9

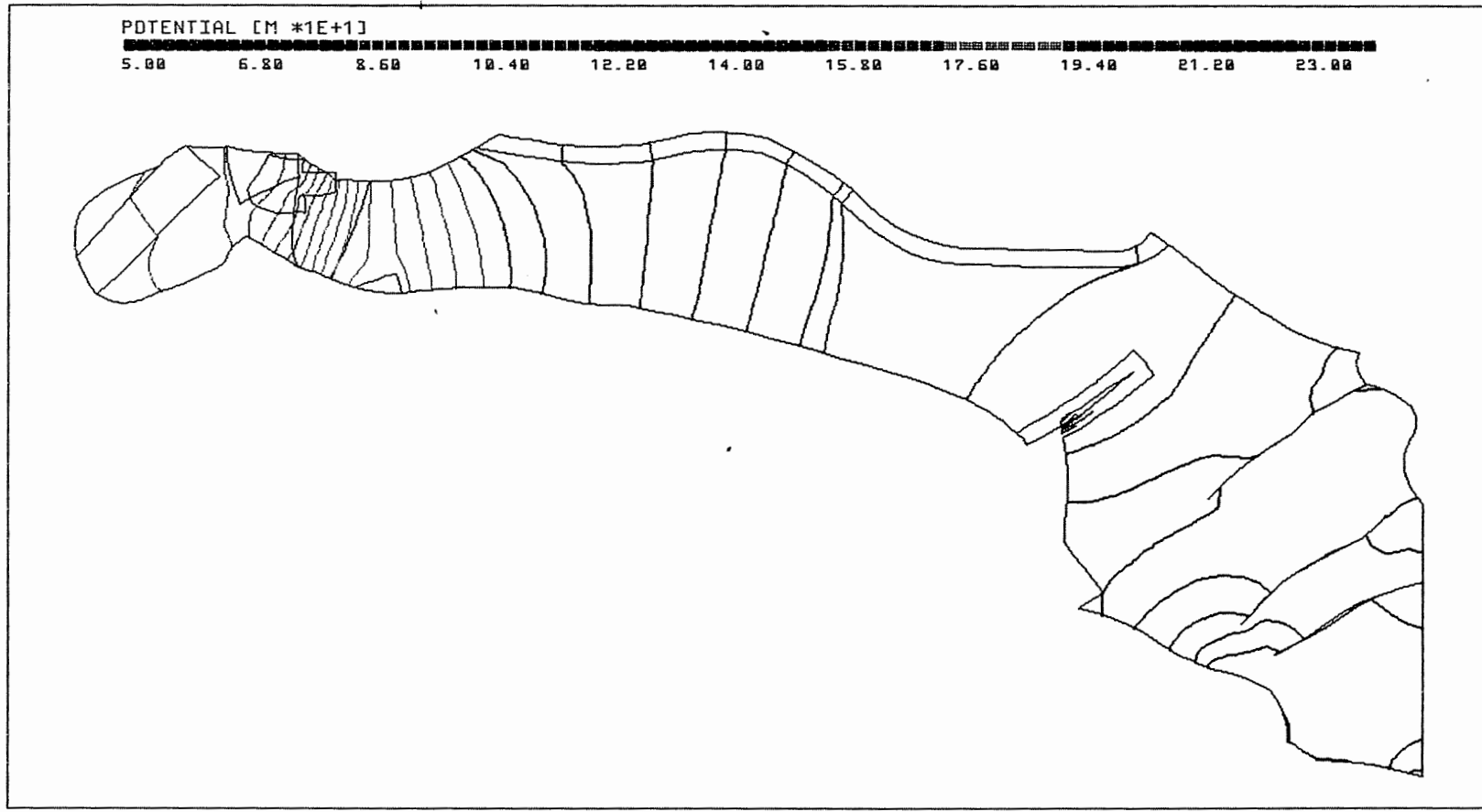


PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT12.EL PTB\_R06.RES 111/0



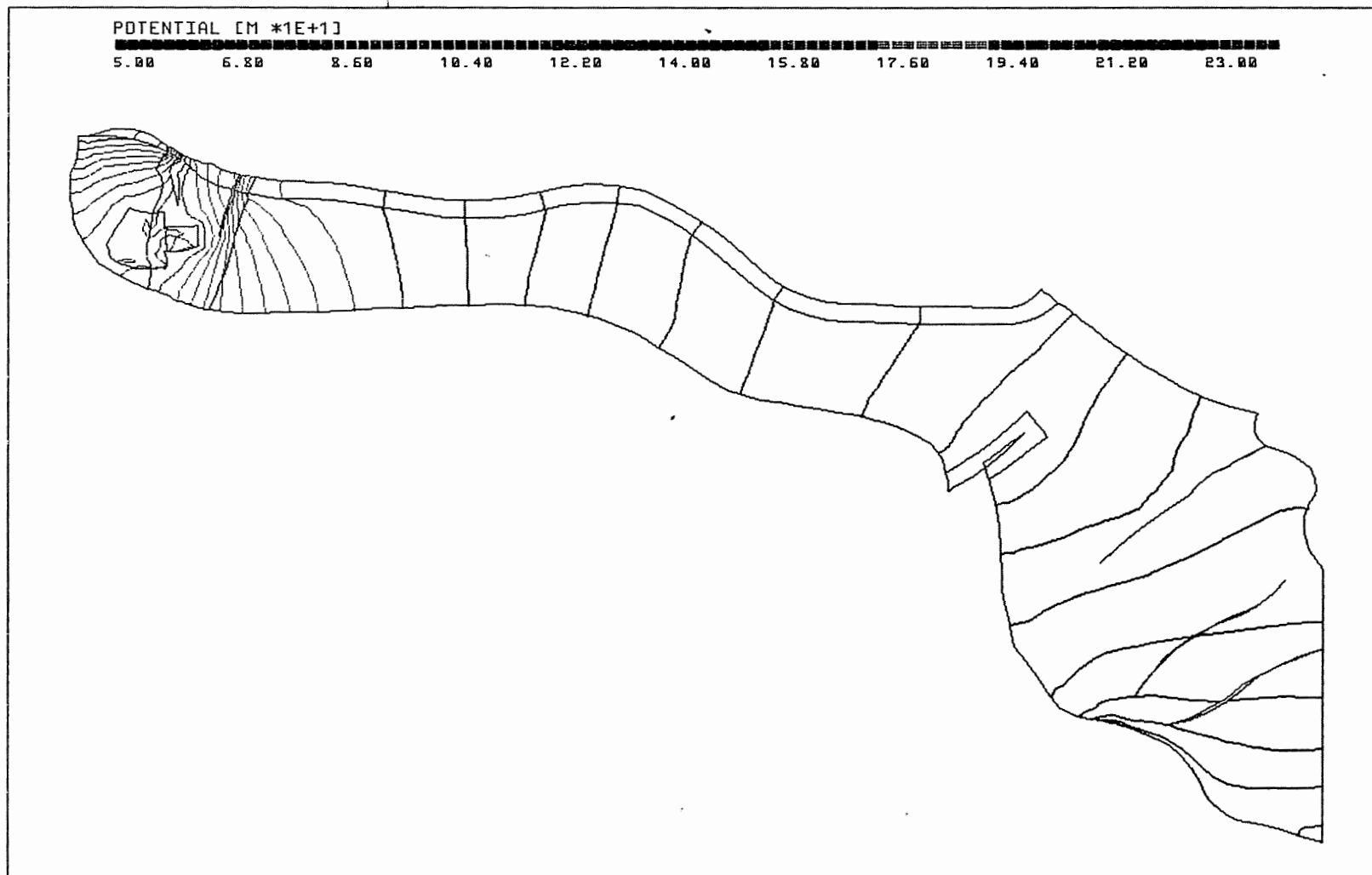
Anh. C6.1.3 Rechenfall R06: Potentiale im Schnitt 12

PTB.XYZ C\_BOT.EL PTB\_R06.RES 90/90



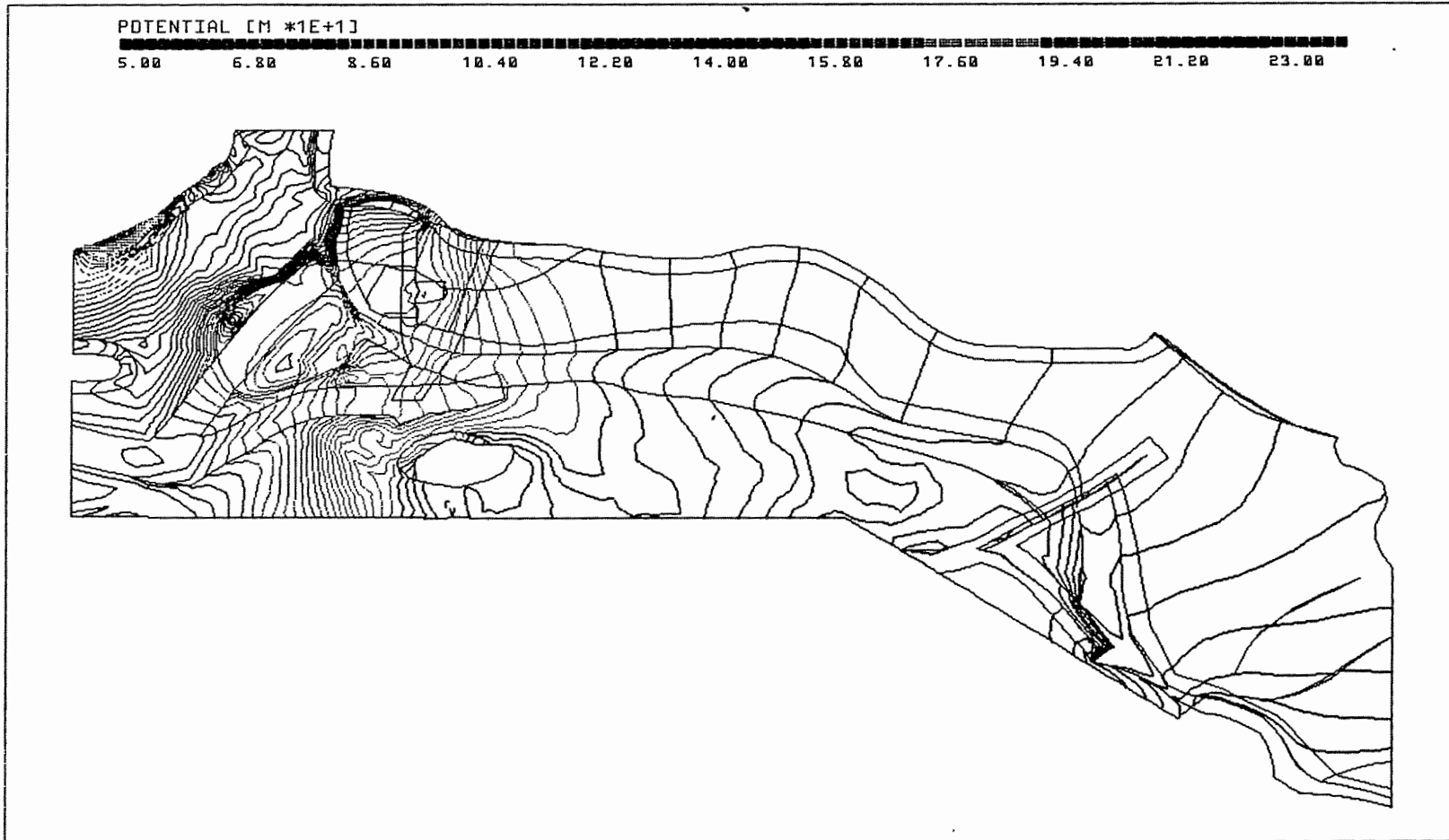
Anh. C6.2.1 Rechenfall R06: Potentiale an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ OX\_BOT.EL PTB\_R06.RES 90/90



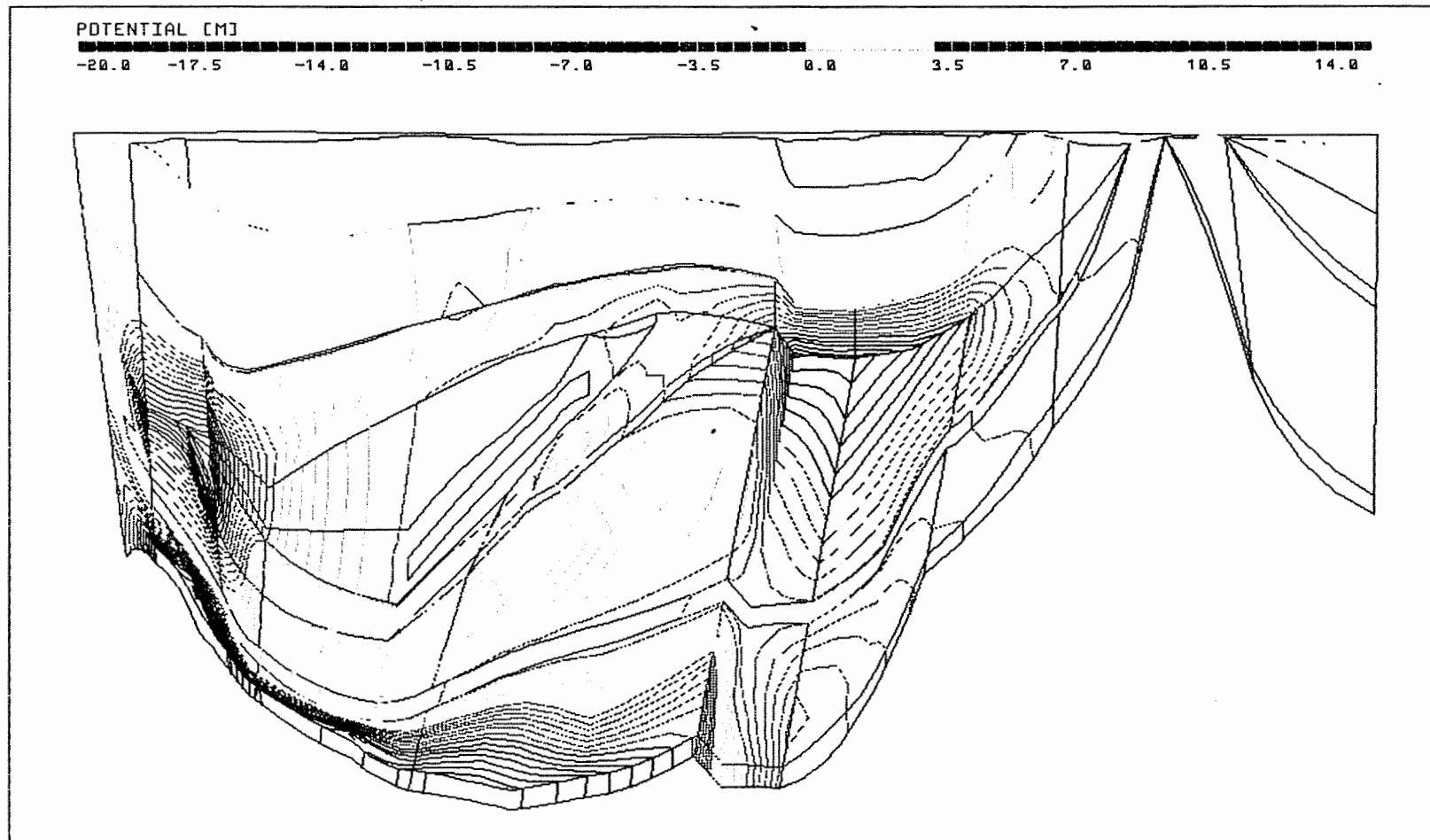
Anh. C6.2.2 Rechenfall R06: Potentiale an der Basis des Oxford

PTB.XYZ KRU\_BOT.EL PTB\_R06.RES 90/90



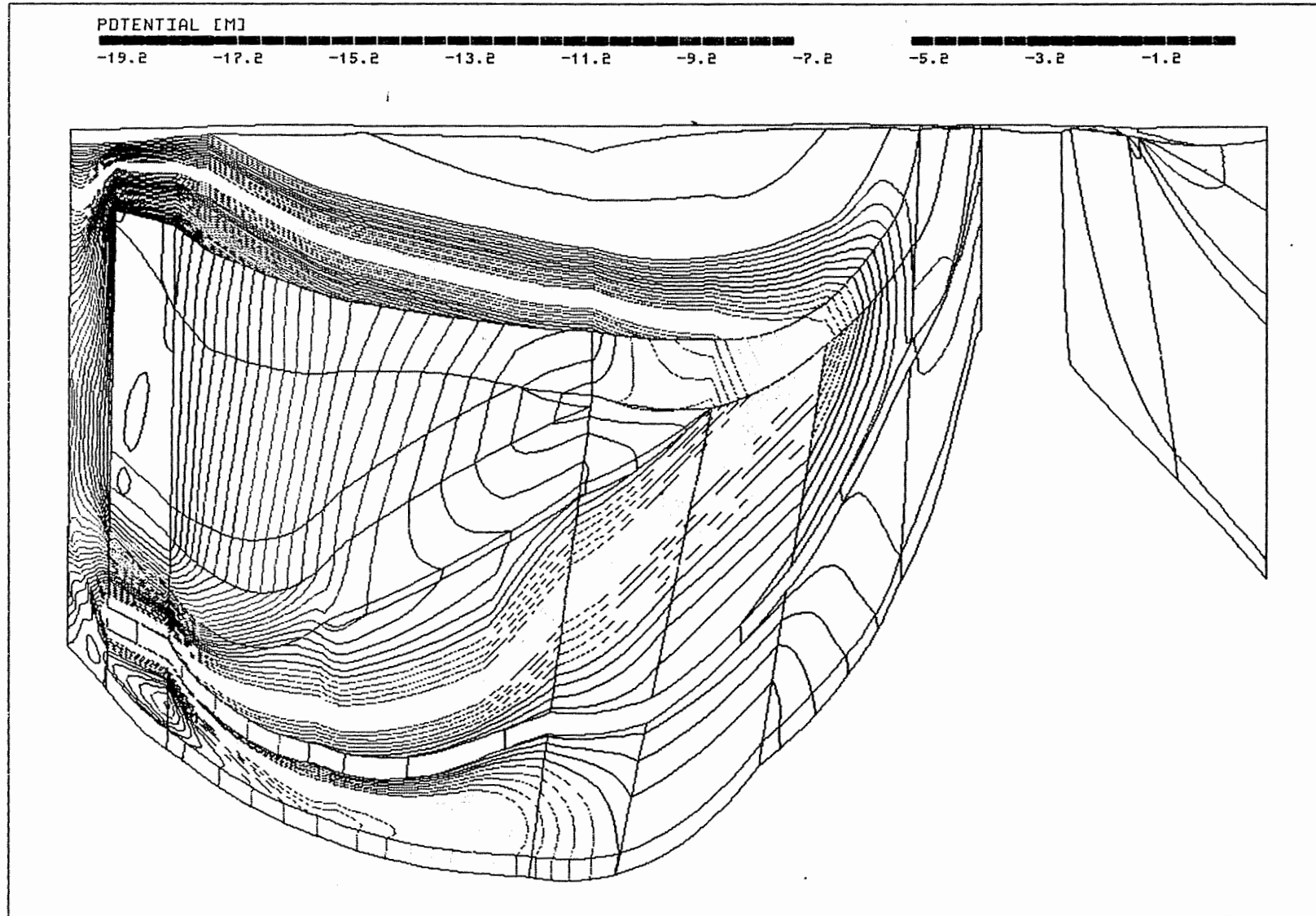
Anh. C6.2.3 Rechenfall R06: Potentiale an der Basis der Unterkreide

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL R06-R01.DIF 177/0



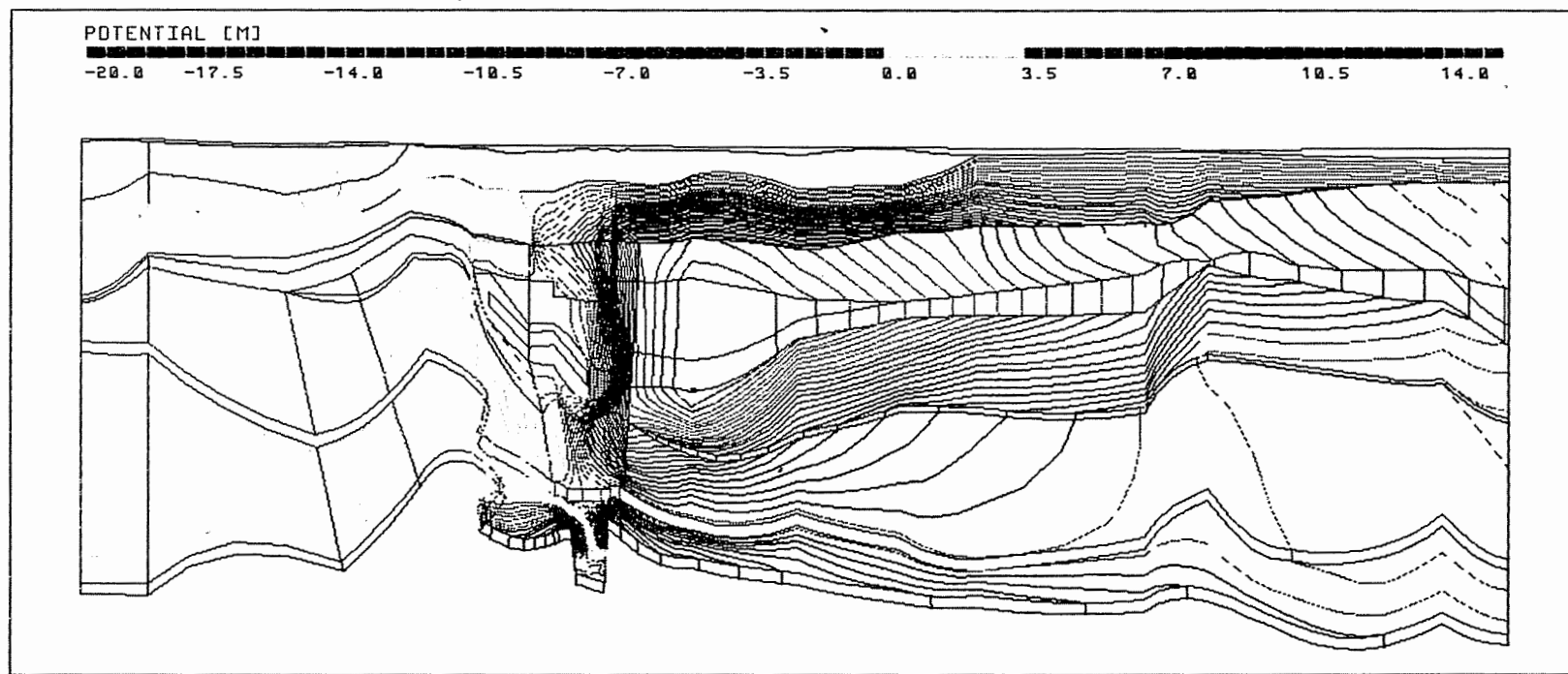
Anh. C6.3.1 Rechenfall R06: Potentialunterschiede R06-R01,  
Schnitt 4

PTB.XYZ(Z\*3.0) SCHNITT5.EL R06-R01.DIF 186/0



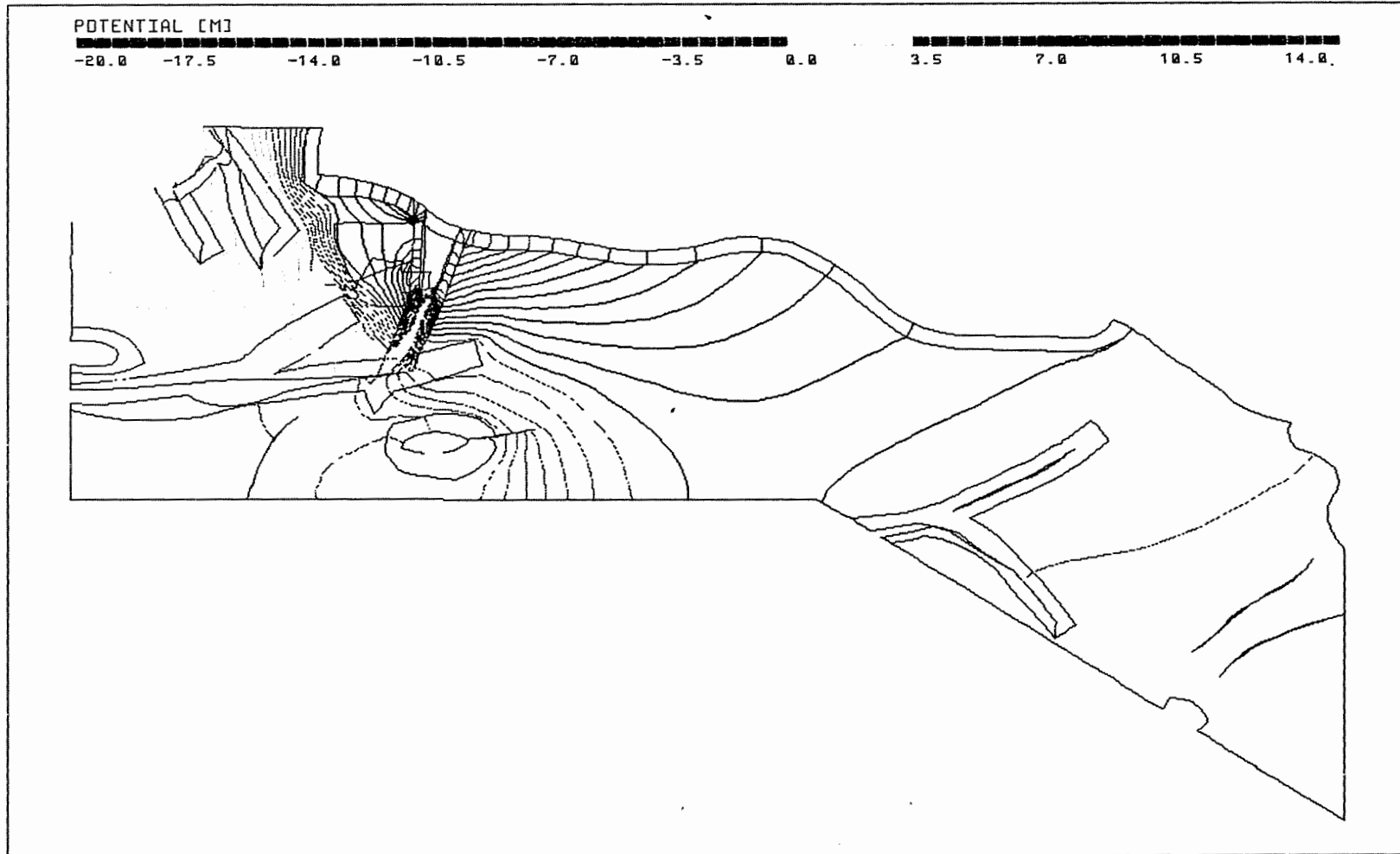
Anh. C6.3.2 Rechenfall R06: Potentialunterschiede R06-R01, Schnitt 5

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL R06-R01.DIF 96/0



Anh. C6.3.3 Rechenfall R06: Potentialunterschiede R06-R01, Schnitt 8-9

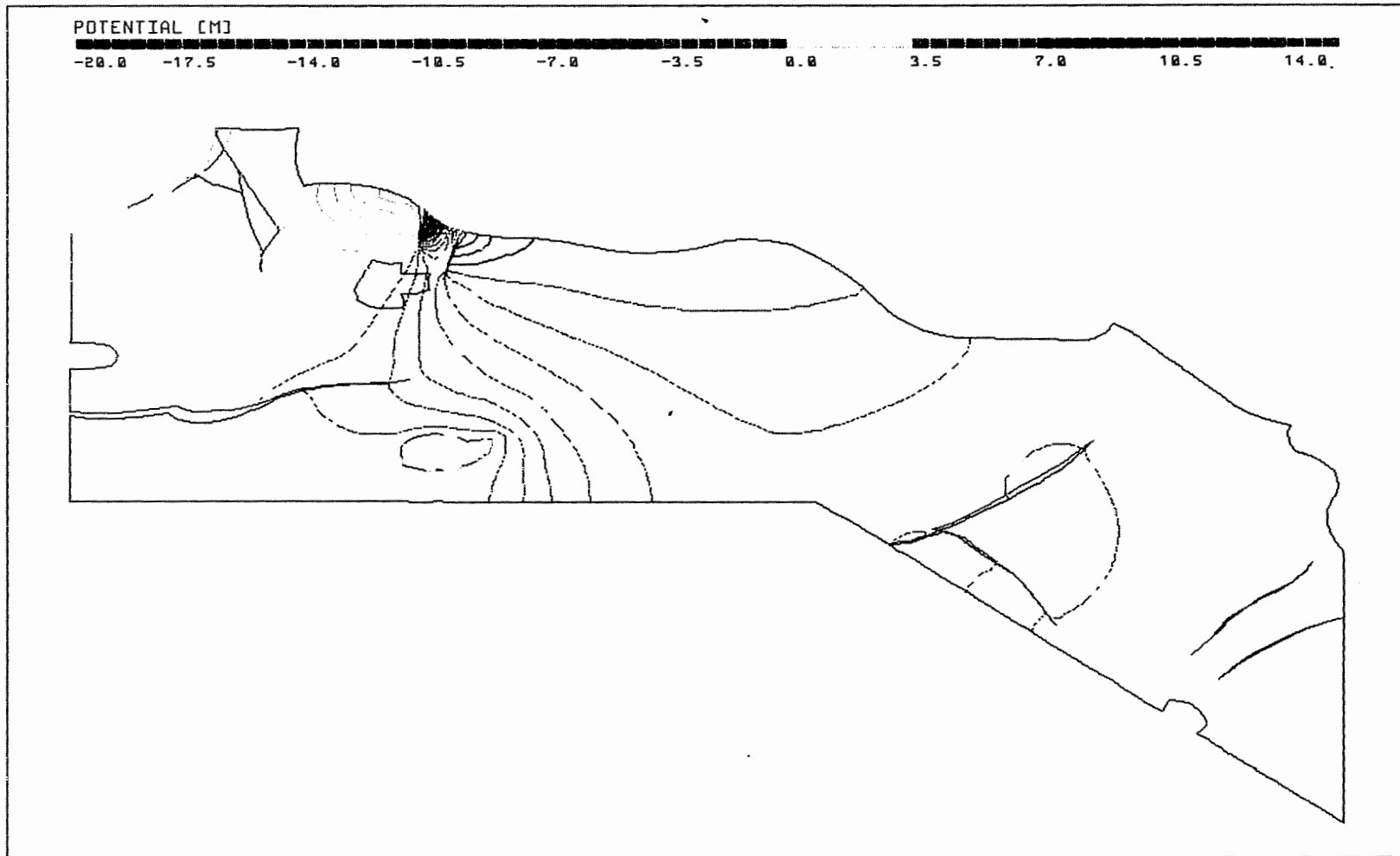
PTB.XYZ MO\_BOT.EL R06-R01.DIF 90/90



Anh. C6.4.1 Rechenfall R06: Potentialunterschiede R06-R01  
an der Basis des Oberen Muschelkalks

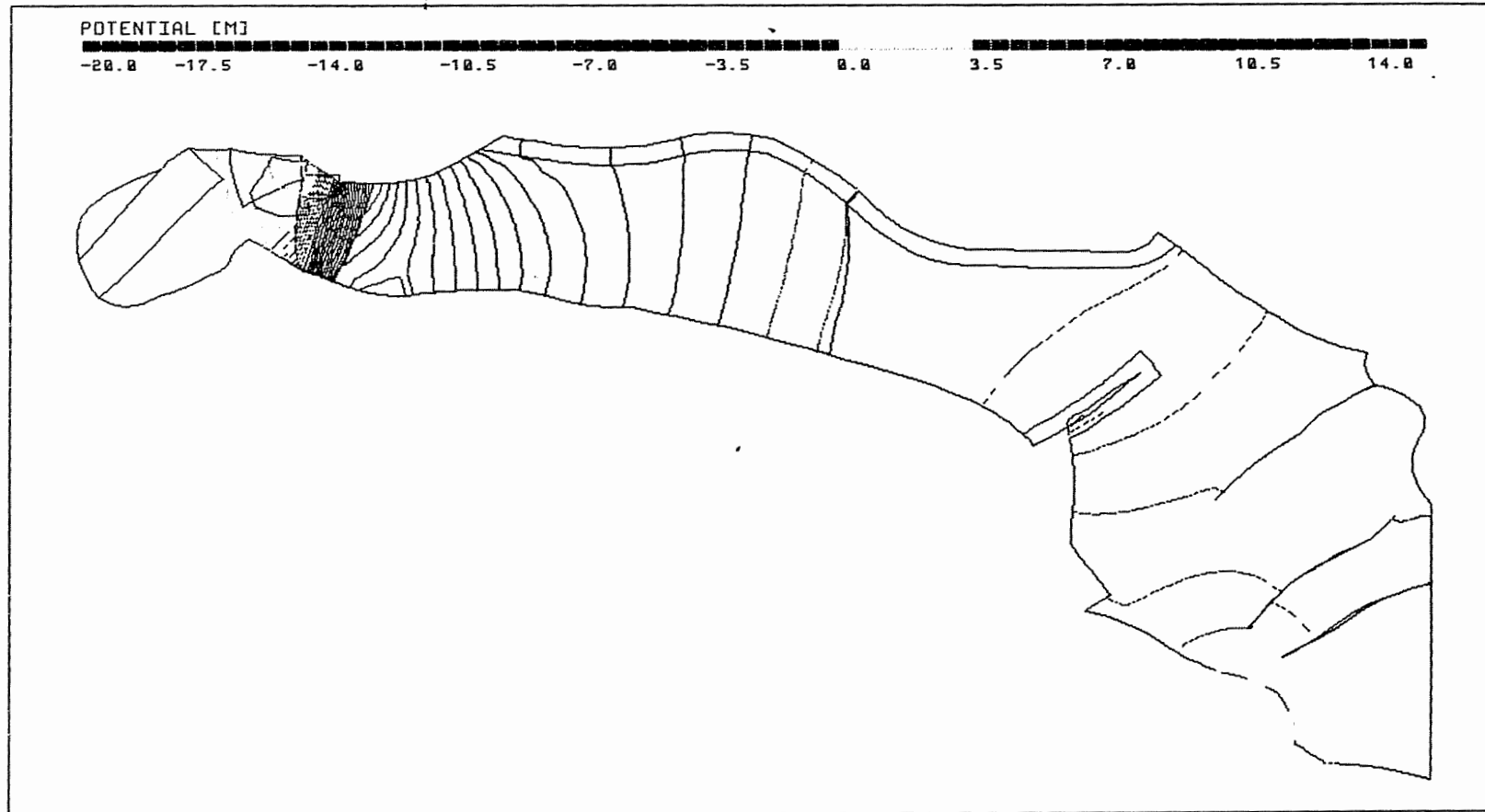


PTB.XYZ KO\_BOT.EL R06-R01.DIF 90/90



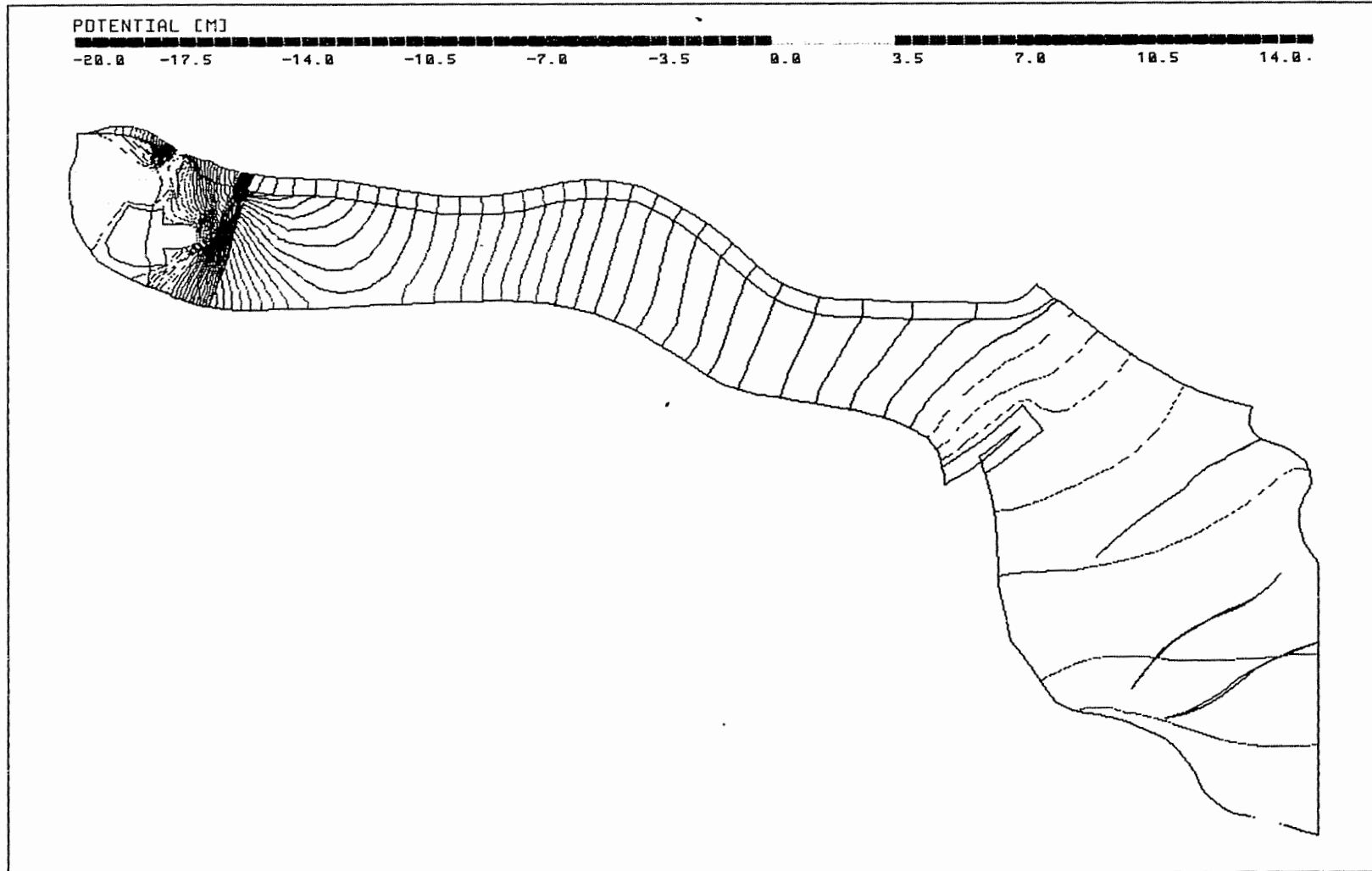
Anh. C6.4.2 Rechenfall R06: Potentialunterschiede R06-R01  
an der Basis des Rhät

PTB.XYZ C\_BOT.EL R06-R01.DIF 90/90



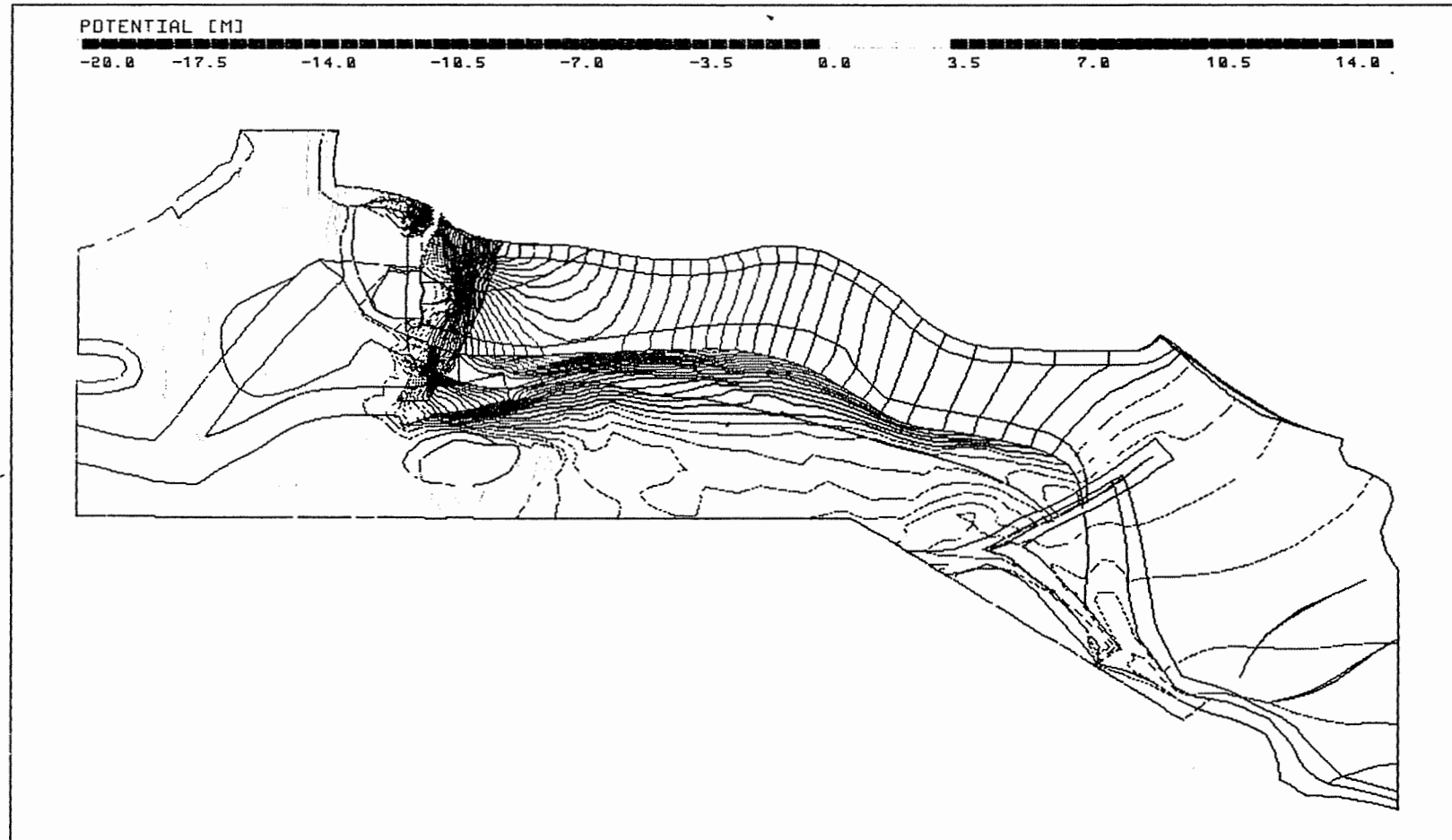
Anh. C6.4.3 Rechenfall R06: Potentialunterschiede R06-R01  
an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ OX\_BOT.EL R06-R01.DIF 90/90



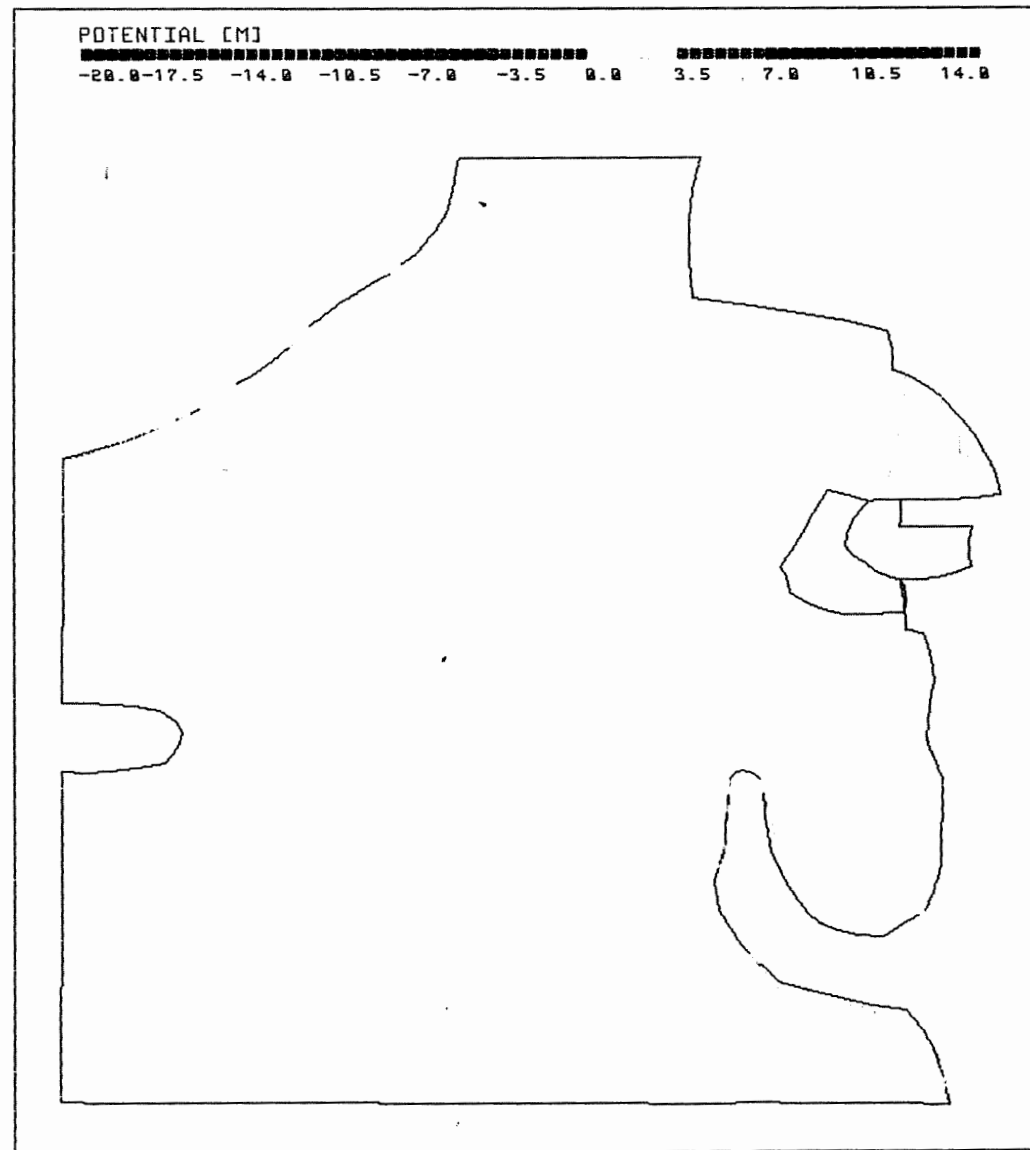
Anh. C6.4.4 Rechenfall R06: Potentialunterschiede R06-R01  
an der Basis des Oxford

PTB.XYZ KRU\_BOT.EL R06-R01.DIF 90/90



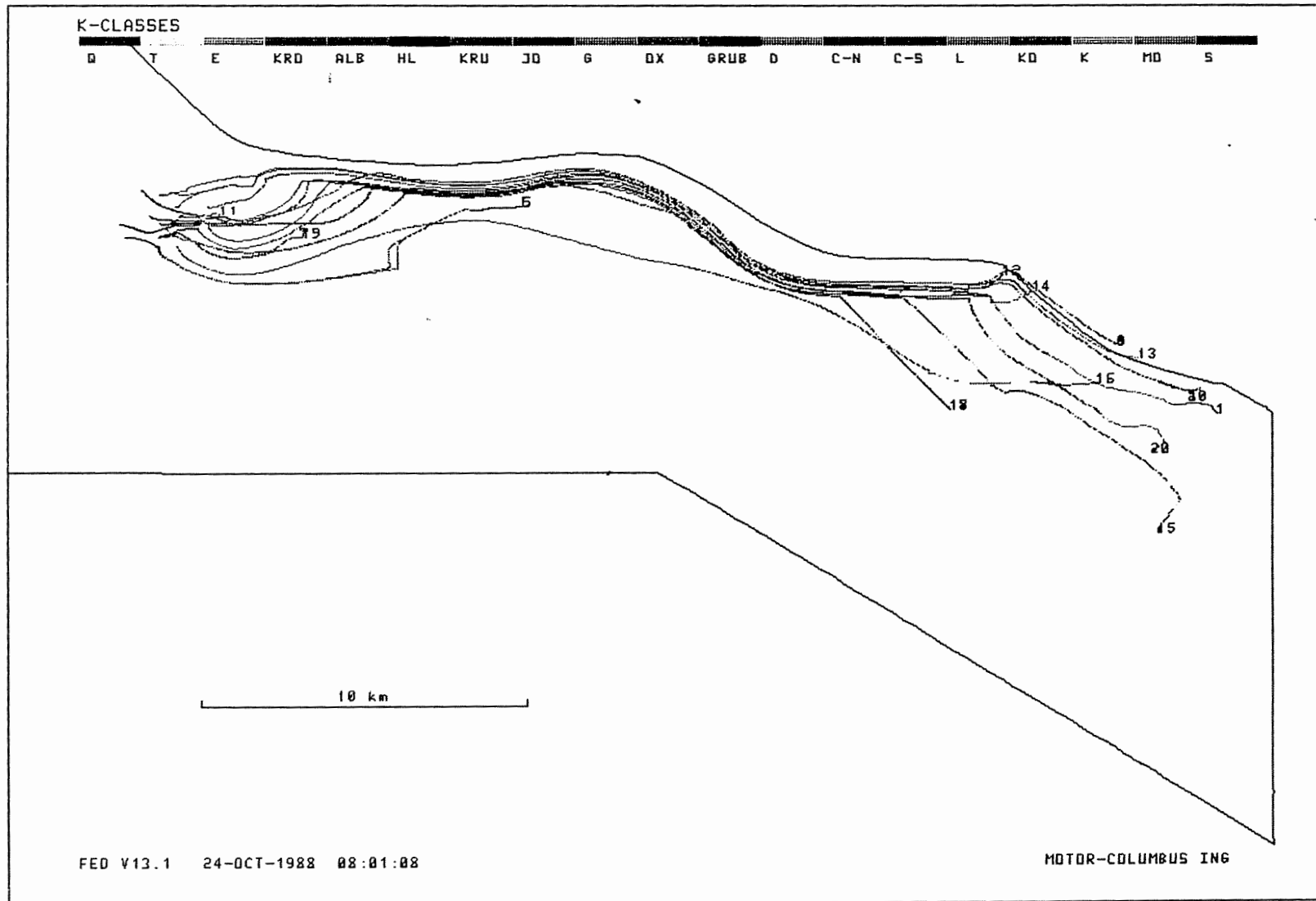
Anh. C6.4.5 Rechenfall R06: Potentialunterschiede R06-R01  
an der Basis der Unterkreide

PTB.XYZ HL\_BOT.EL R06-R01.DIF 90/90



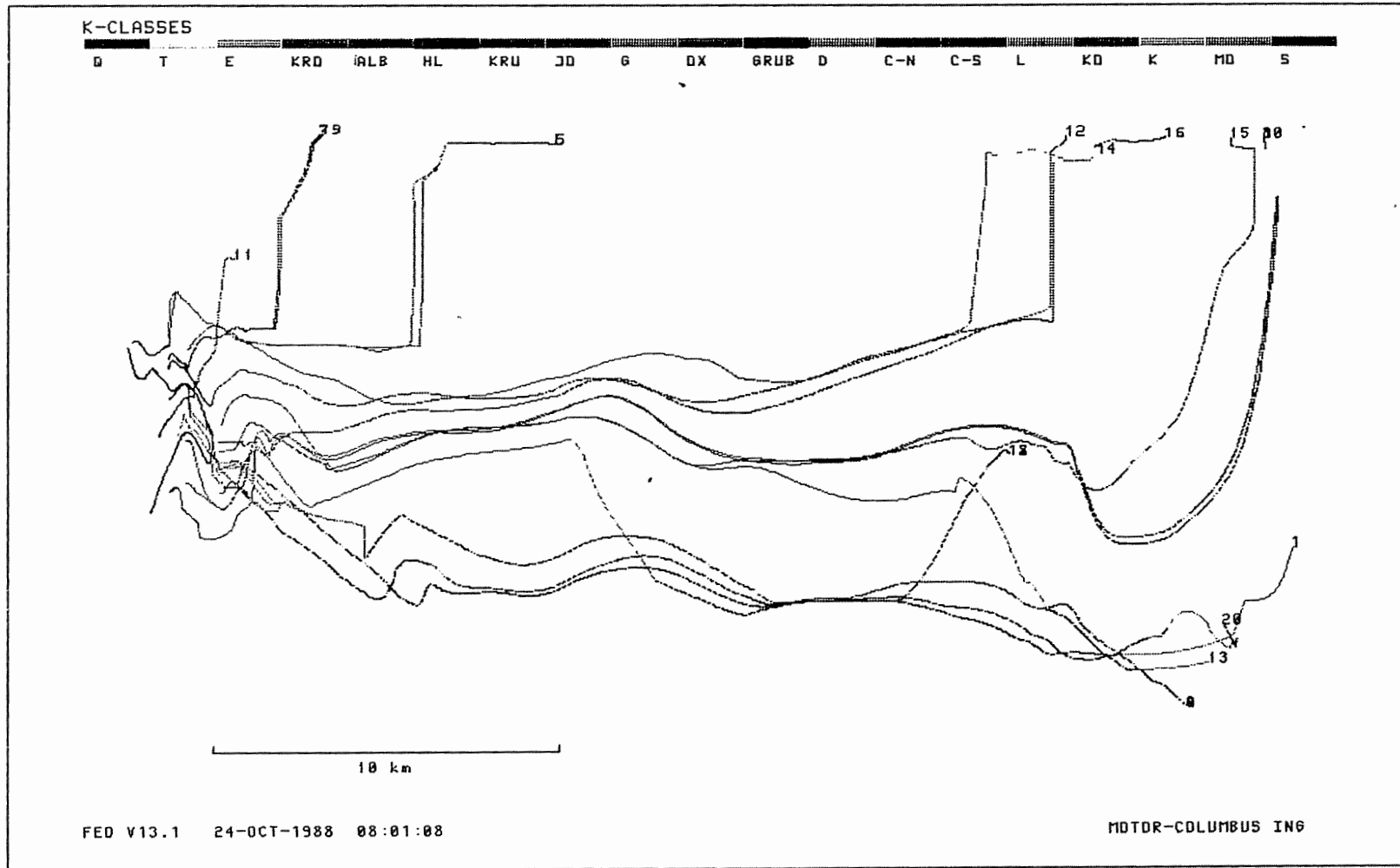
Anh. C6.4.6 Rechenfall R06: Potentialunterschiede R06-R01  
an der Basis des Hilssandsteins

R06: FLIESSWEGE (GRUNDRISS)



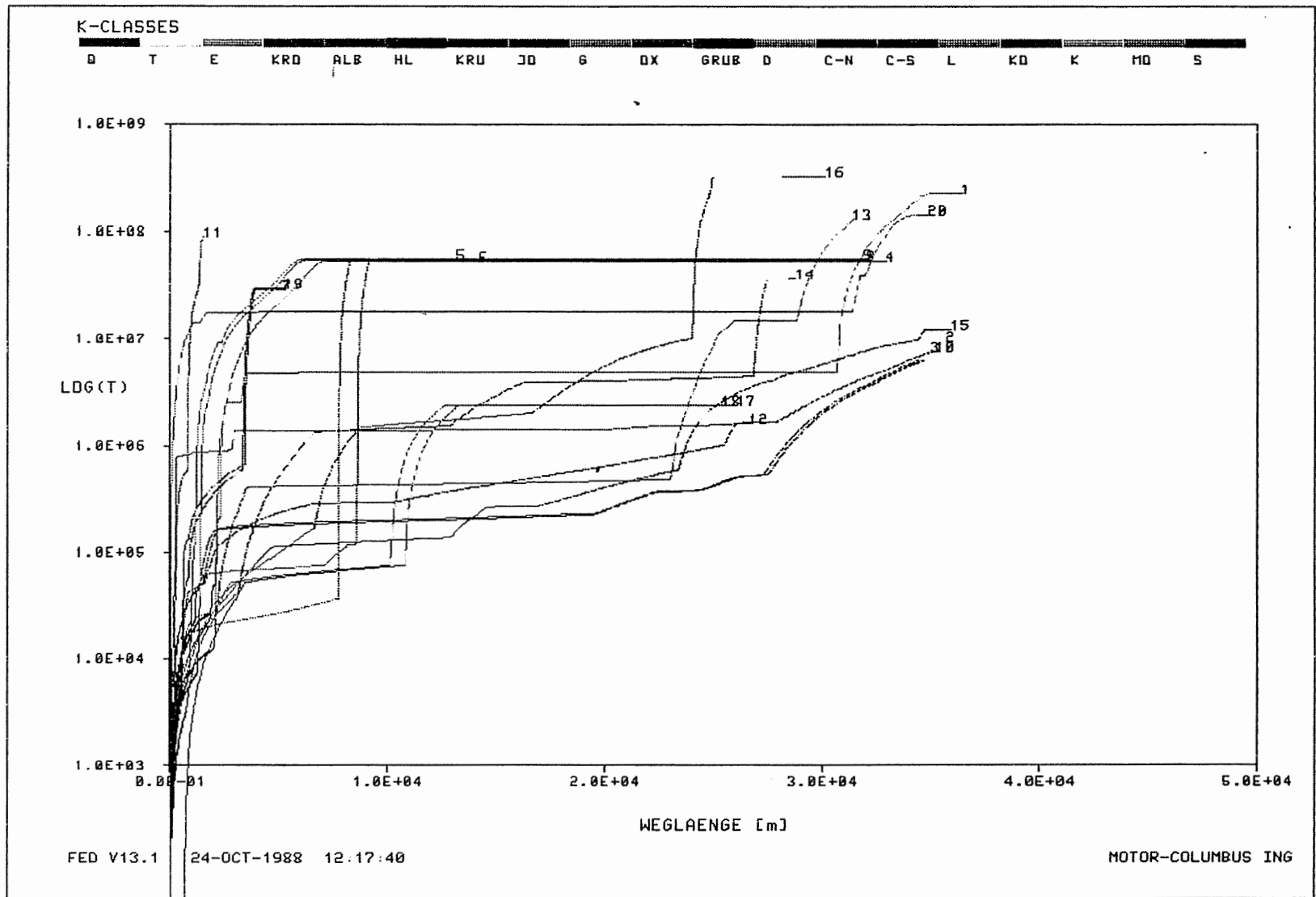
Anh. C6.5.1 Rechenfall R06: Fließwege im Grundriss

R06: FLIESSWEGE (AUFRISS, 8-FACH UEBERHOEHT)



Anh. C6.5.2 Rechenfall R06: Fließwege im Aufriss

R06: WEG-ZEIT-DIAGRAMM DER FIESSWEGE



Anh. C6.5.3 Rechenfall R06: Weg-Zeit-Diagramm der Fließwege  
 (Zeit im logarithmischen Massstab)



7

**Rechenfall R07**

7.1 Potentialunterschiede R07-R01, Schnitte

7.1.1 Schnitt 8-9

7.1.2 Schnitt 8-9, Ausschnitt Nordstrecke

7.1.3 Schnitt 8-9, Ausschnitt Nordstrecke

7.1.4 Schnitt 4

7.1.5 Schnitt 4, Ausschnitt Schacht Konrad 2  
(Doggerstrecke)

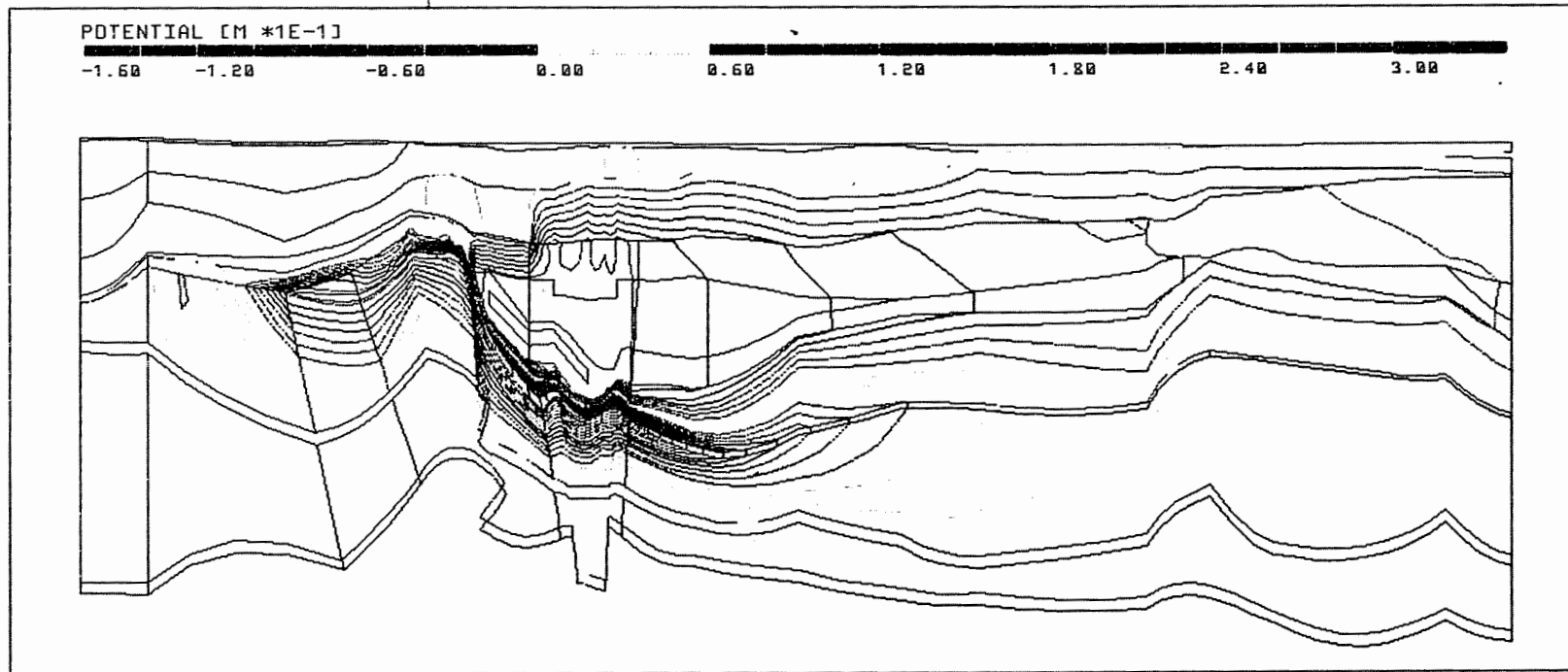
7.2 Fließwege

7.2.1 Grundriss

7.2.2 Aufriss

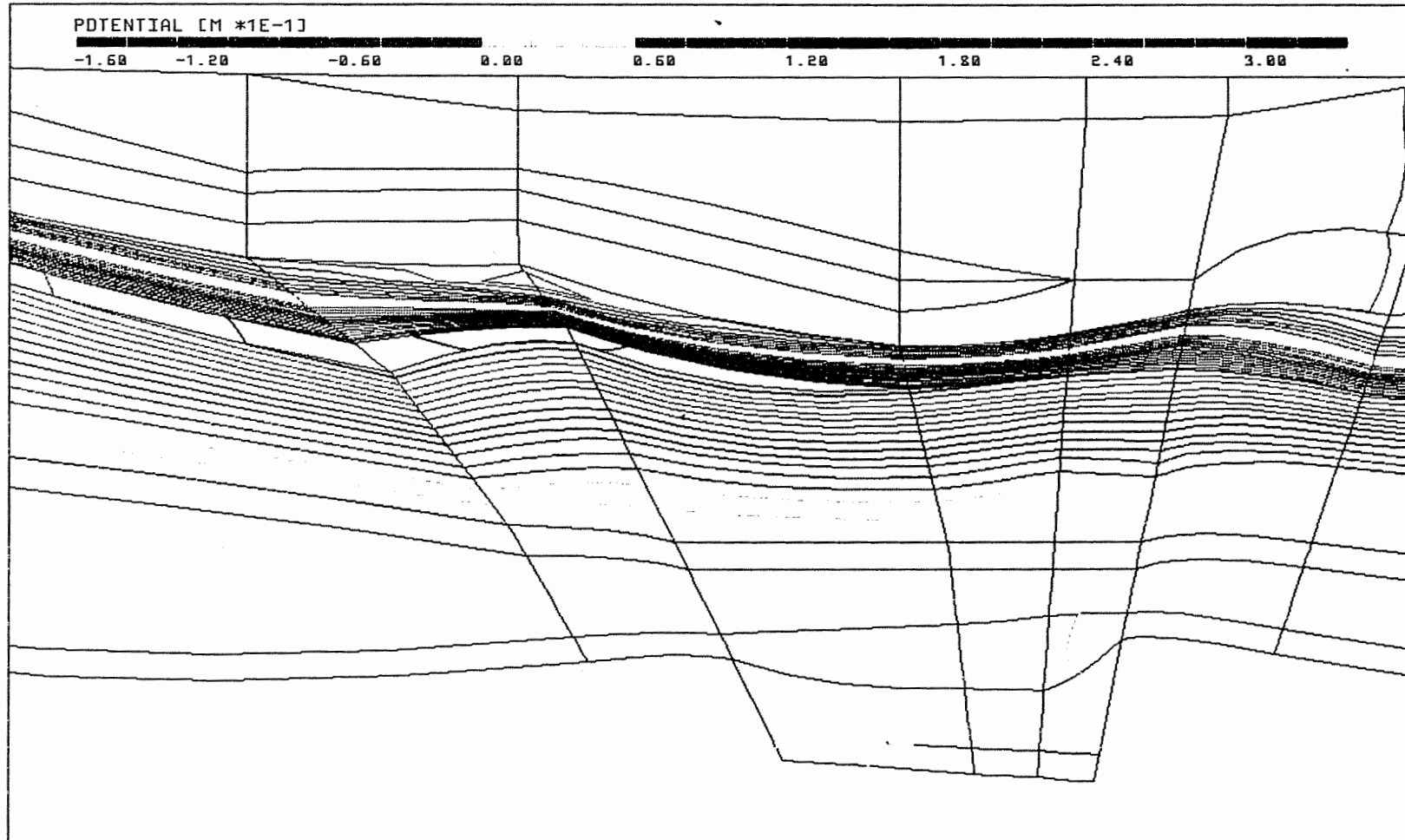
7.2.3 Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen  
Massstab)

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL R07-R01.DIF 96/0



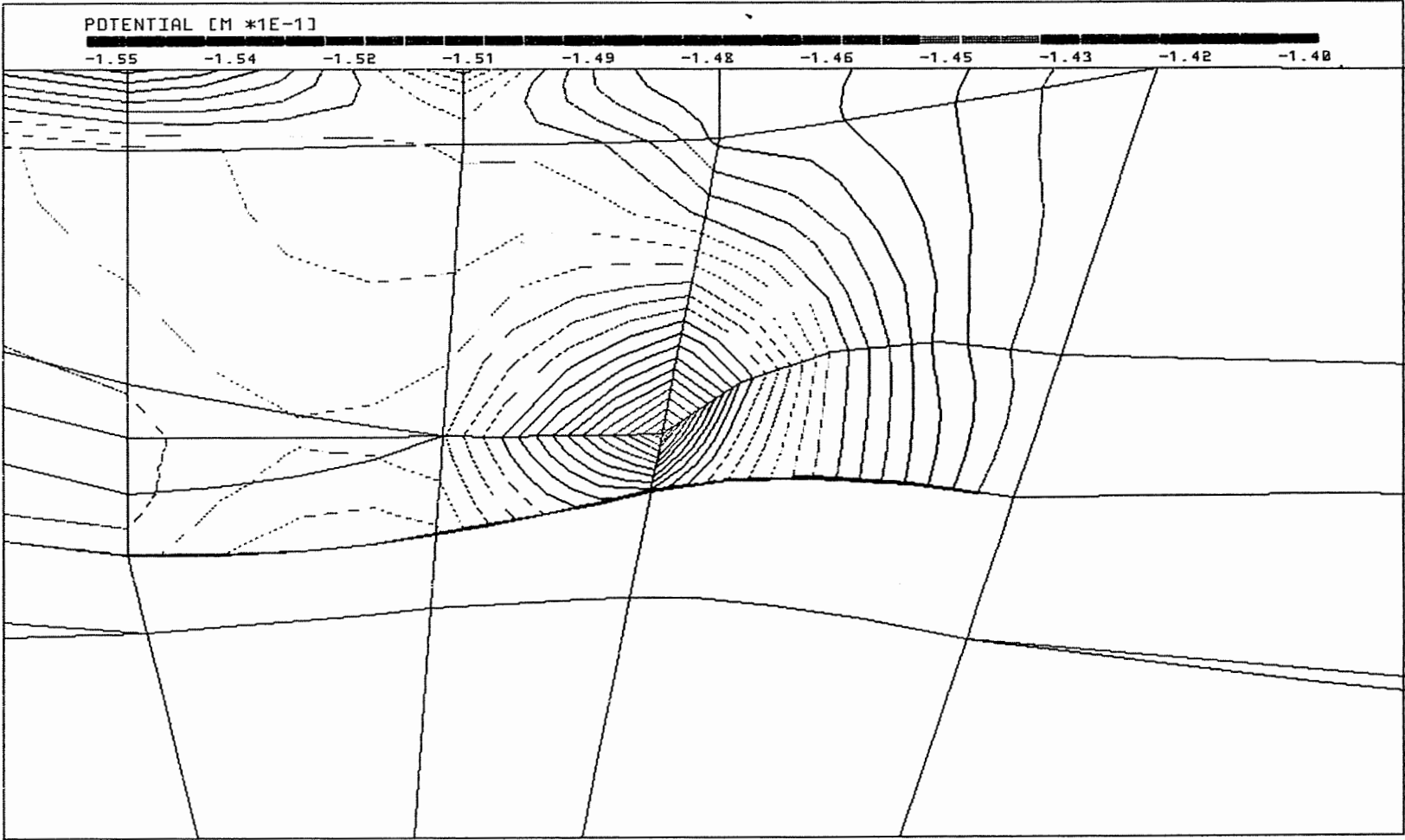
Anh. C7.1.1 Rechenfall R07: Potentiale im Schnitt 8-9

PTB.XYZ CUT8\_9.EL R07-R01.DIF 96/0



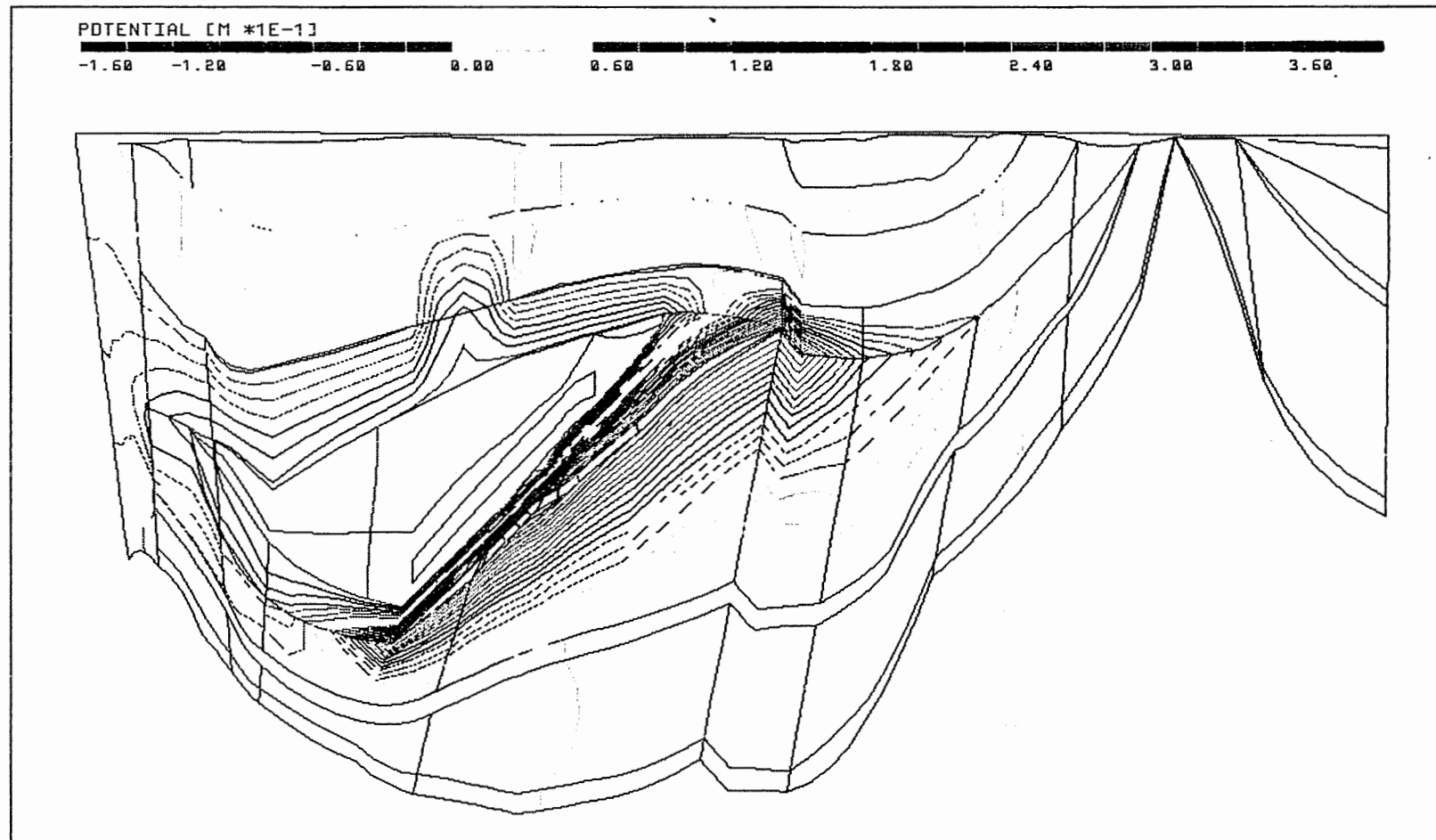
Anh. C7.1.2 Rechenfall R07: Potentiale im Schnitt 8-9, Ausschnitt Nordstrecke

PTB.XYZ CUT8\_9.EL R07-R01.DIF 96/0



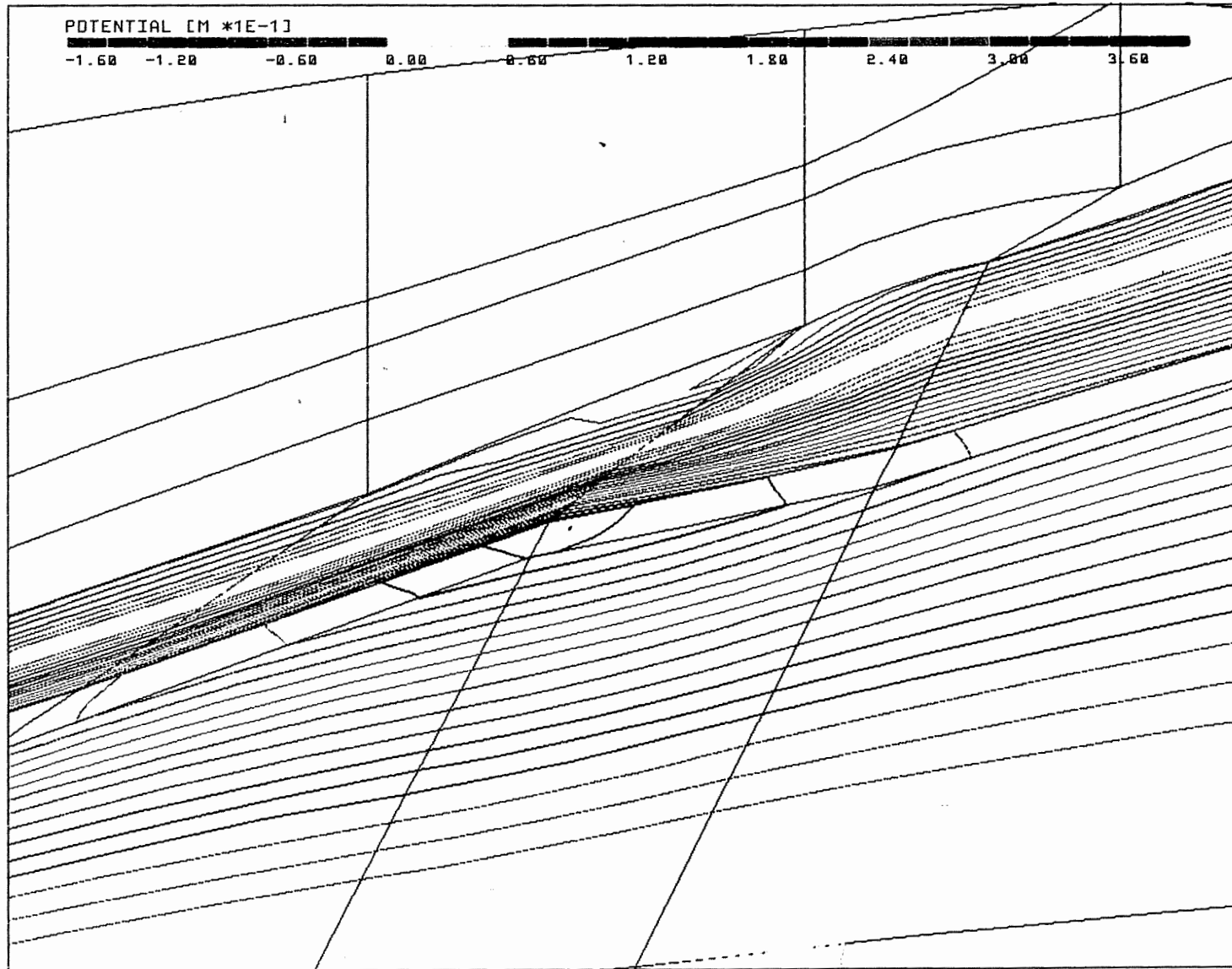
Anh. C7.1.3 Rechenfall R07: Potentiale im Schnitt 8-9, Ausschnitt Nordstrecke

PTB,XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL R07-R01.DIF 177/0



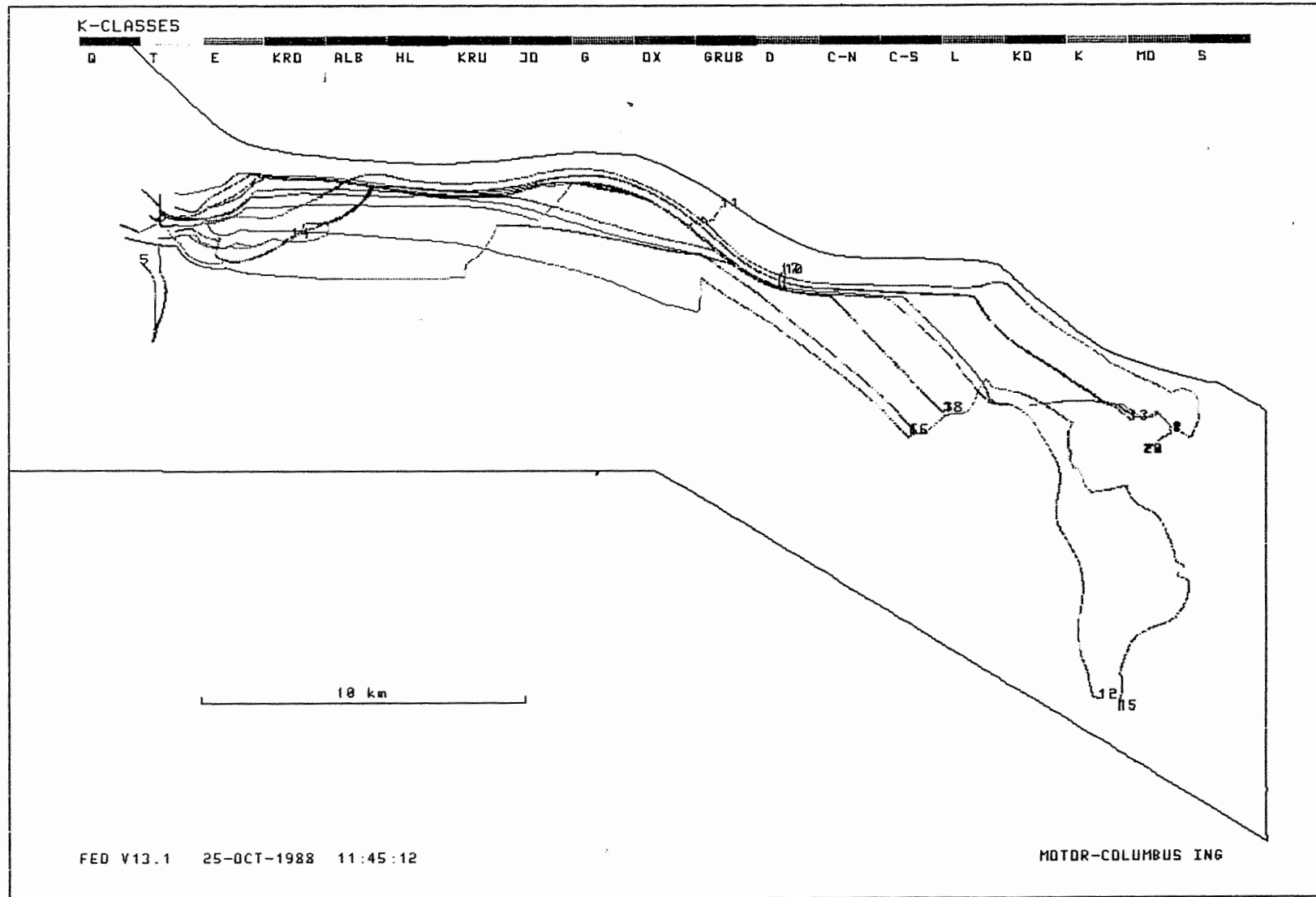
Anh. C7.1.4 Rechenfall R07: Potentiale im Schnitt 4

PTB.XYZ CUT4.EL R07-R01.DIF 177/0



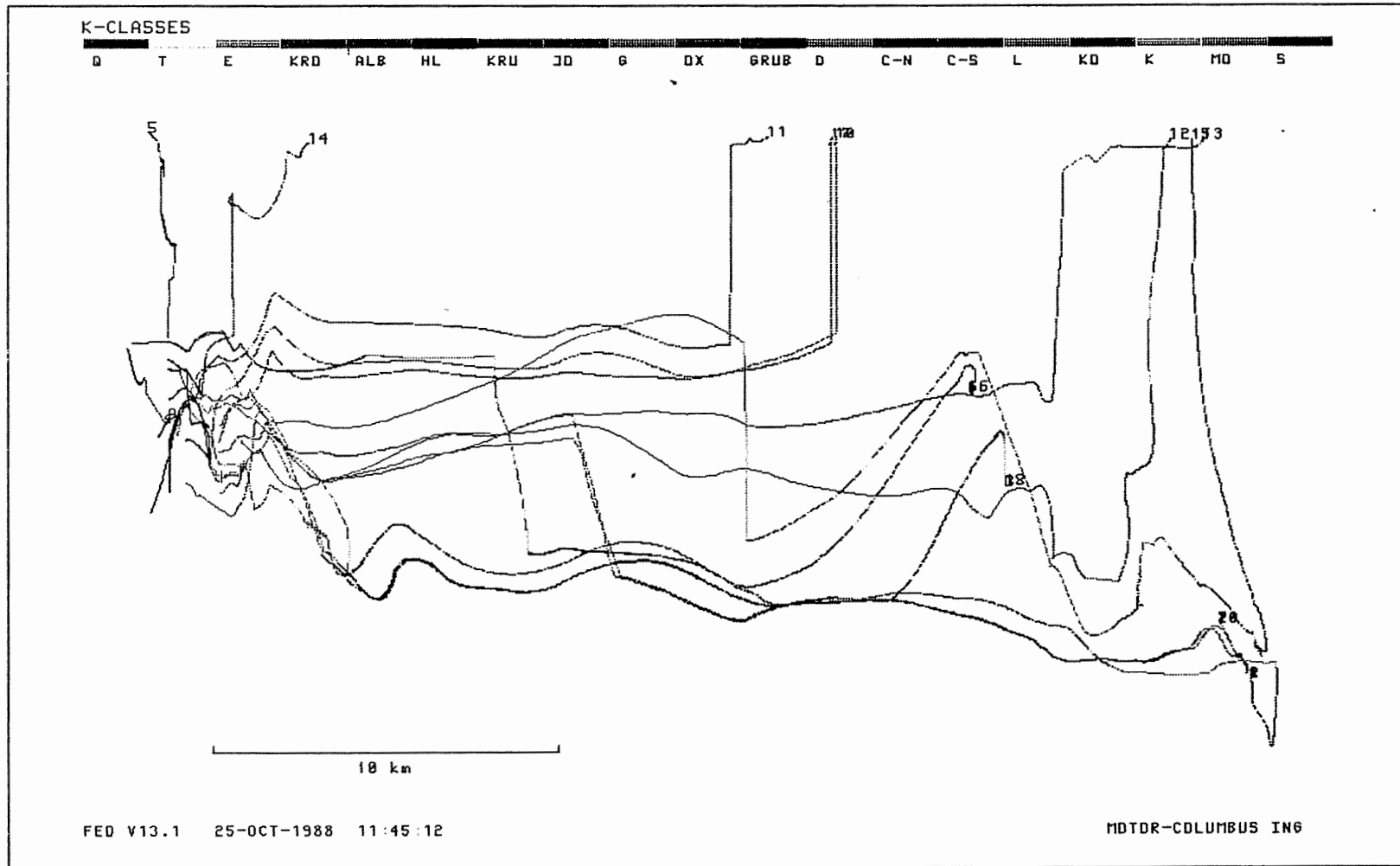
Anh. C7.1.5 Rechenfall R07: Potentiale im Schnitt 4, Ausschnitt Schacht Konrad 2 (Doggerstrecke)

R07: FLIESSWEGE (GRUNDRISS)



Anh. C7.2.1 Rechenfall R07: Fließwege im Grundriss

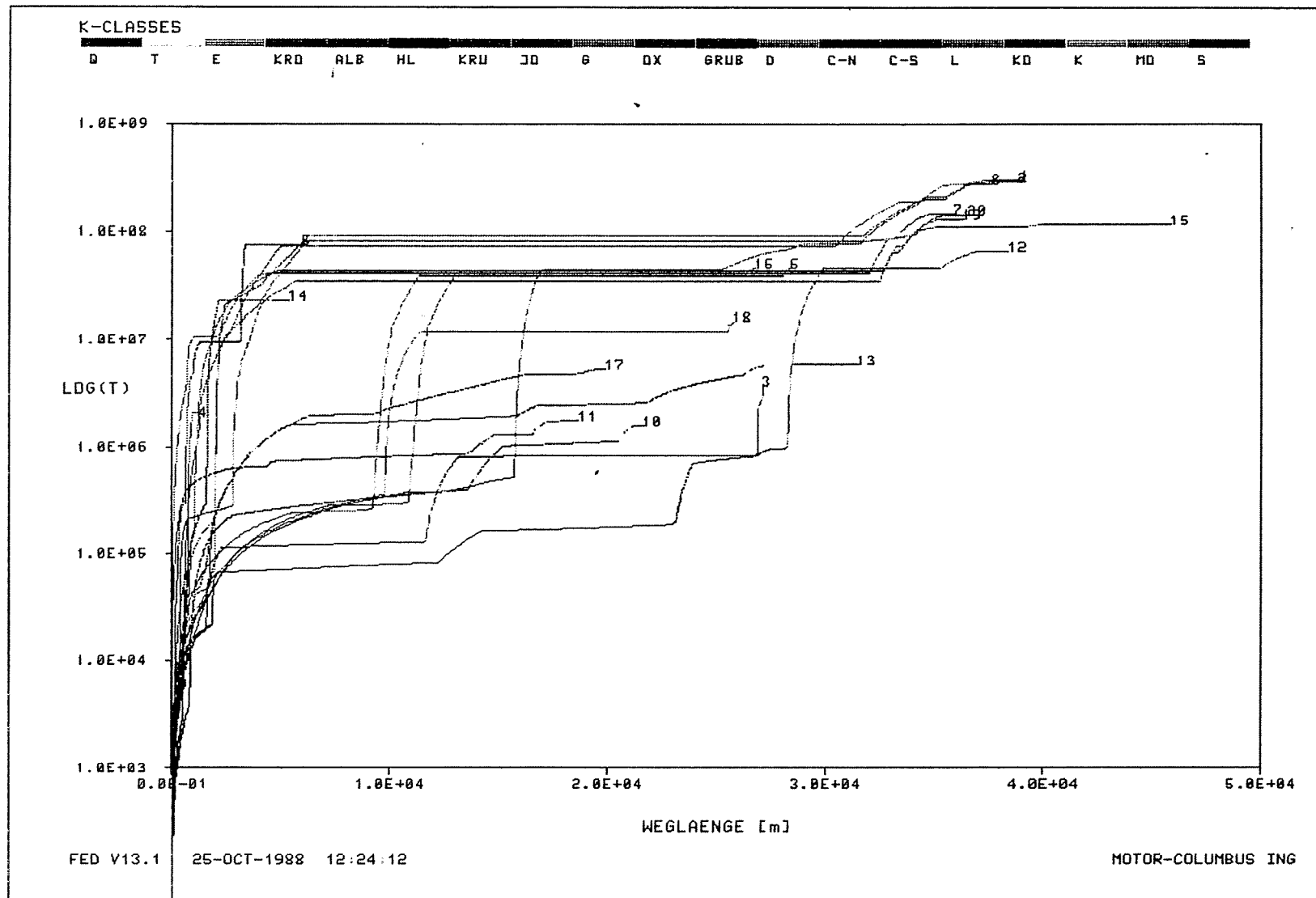
R07: FLIESSWEGE (AUFRISS, 8-FACH. UEBERHOEHT)



Anh. C7.2.2 Rechenfall R07: Fließwege im Aufriss



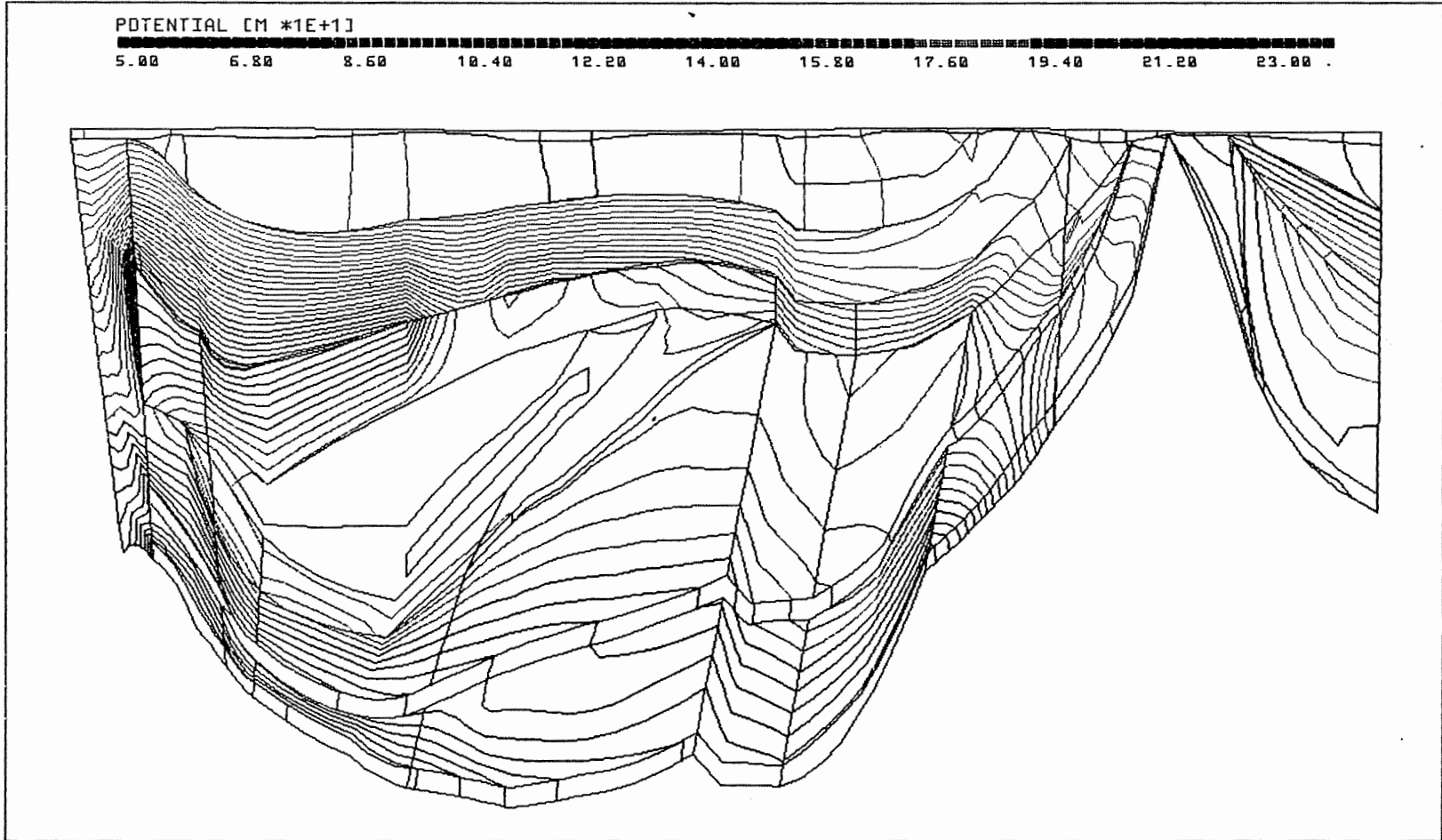
R07: WEG-ZEIT-DIAGRAMM DER FIESSWEGE



Anh. C7.2.3 Rechenfall R07: Weg-Zeit-Diagramm der FlieBswwege  
(Zeit im logarithmischen Massstab)

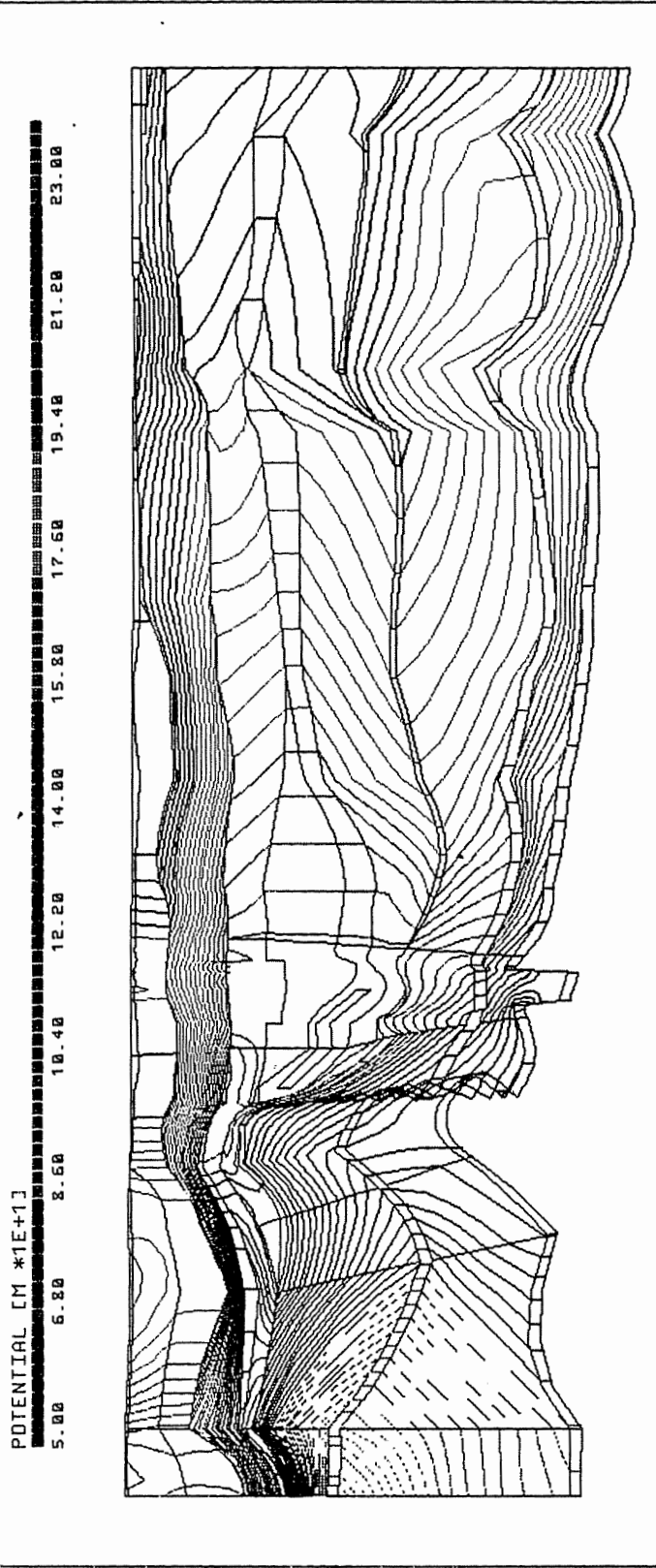
11	<b>Rechenfall R11</b>
11.1	<u>Potentiale, Schnitte</u>
11.1.1	Schnitt 4
11.1.2	Schnitt 8-9
11.1.3	Schnitt 12
11.1.4	Schnitt 15
11.1.5	Schnitt 16
11.1.6	Schnitt 17
11.2	<u>Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten</u>
11.2.1	Basis Oberer Muschelkalk
11.2.2	Basis Rhät
11.2.3	Basis Cornbrash-Sandstein
11.2.4	Basis Oxford
11.2.5.	Basis Unterkreide
11.2.6	Basis Hilssandstein
11.3	<u>Potentialunterschiede R11-R01, Schnitte</u>
11.3.1	Schnitt 4
11.3.2	Schnitt 5
11.3.3	Schnitt 8-9
11.3.4	Schnitt 15
11.3.5	Schnitt 16
11.3.6	Schnitt 17
11.4	<u>Potentialunterschiede R11-R01, Basisflächen von Schichteinheiten</u>
11.4.1	Basis Oberer Muschelkalk
11.4.2	Basis Rhät
11.4.3	Basis Cornbrash-Sandstein
11.4.4	Basis Oxford
11.4.5	Basis Unterkreide
11.4.6	Basis Hilssandstein
11.5	<u>Fließwege</u>
11.5.1	Grundriss
11.5.2	Aufriss
11.5.3	Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)
11.6	<u>Flüsse durch die Wasserleiter von Schnitten</u>
11.6.1	Schnitt 1
11.7	<u>Vektoren der Filtergeschwindigkeit</u>
11.7.1	Schnitt 8-9-10
11.7.2	Oberfläche des Cornbrash-Sandsteins
11.7.3	Oberfläche des Oxford
11.7.4	Oberfläche des Kimmeridge

PTB.XYZ(Z\*3.0) SCHNITT4.EL PTB\_R11.RES 177/0



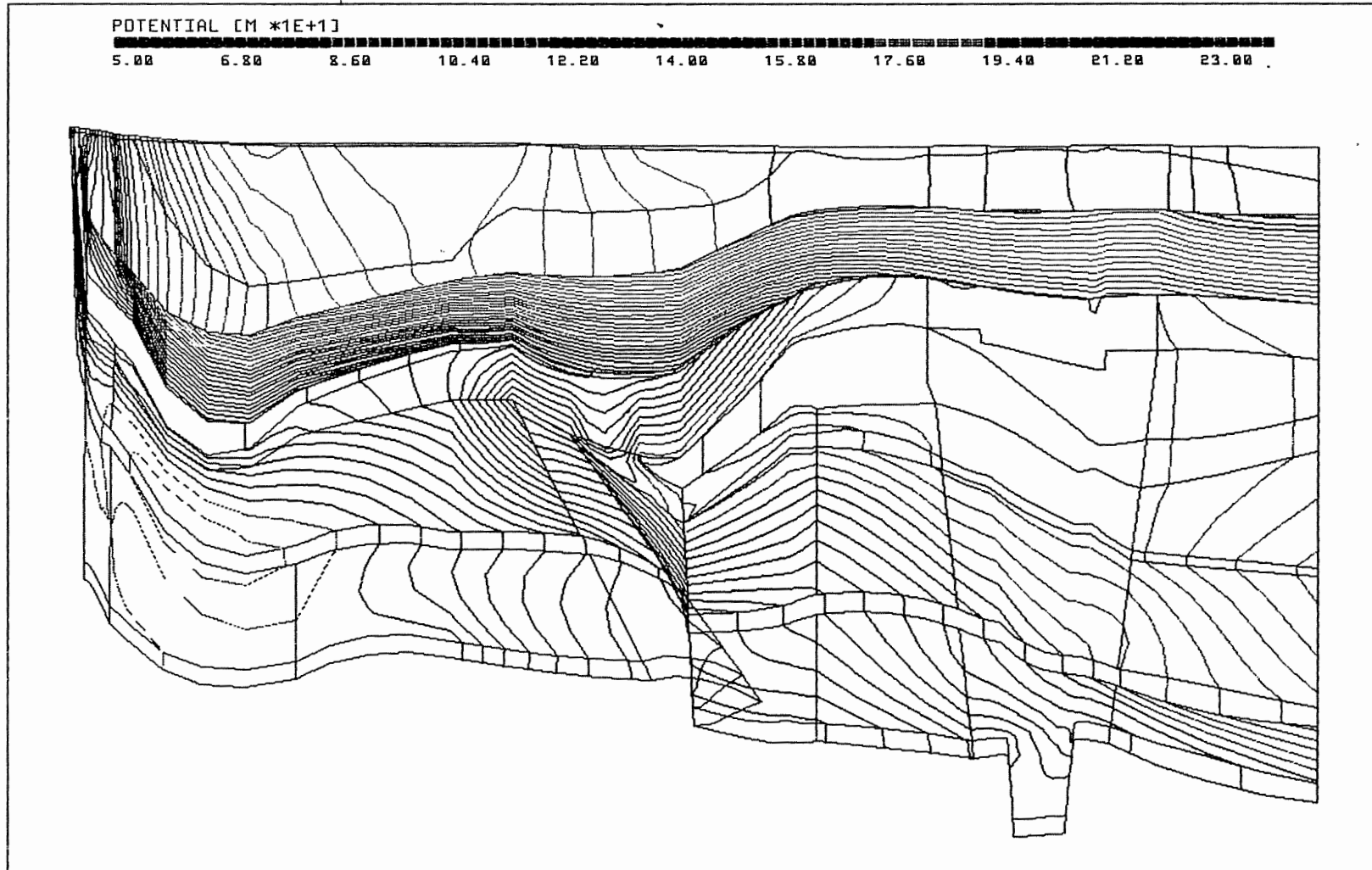
Anh. C11.1.1 Rechenfall R11: Potentiale im Schnitt 4

PTB\_XYZ(Z\*5.0) SCHNITT8\_9.EL PTB\_R11.RES 96/0



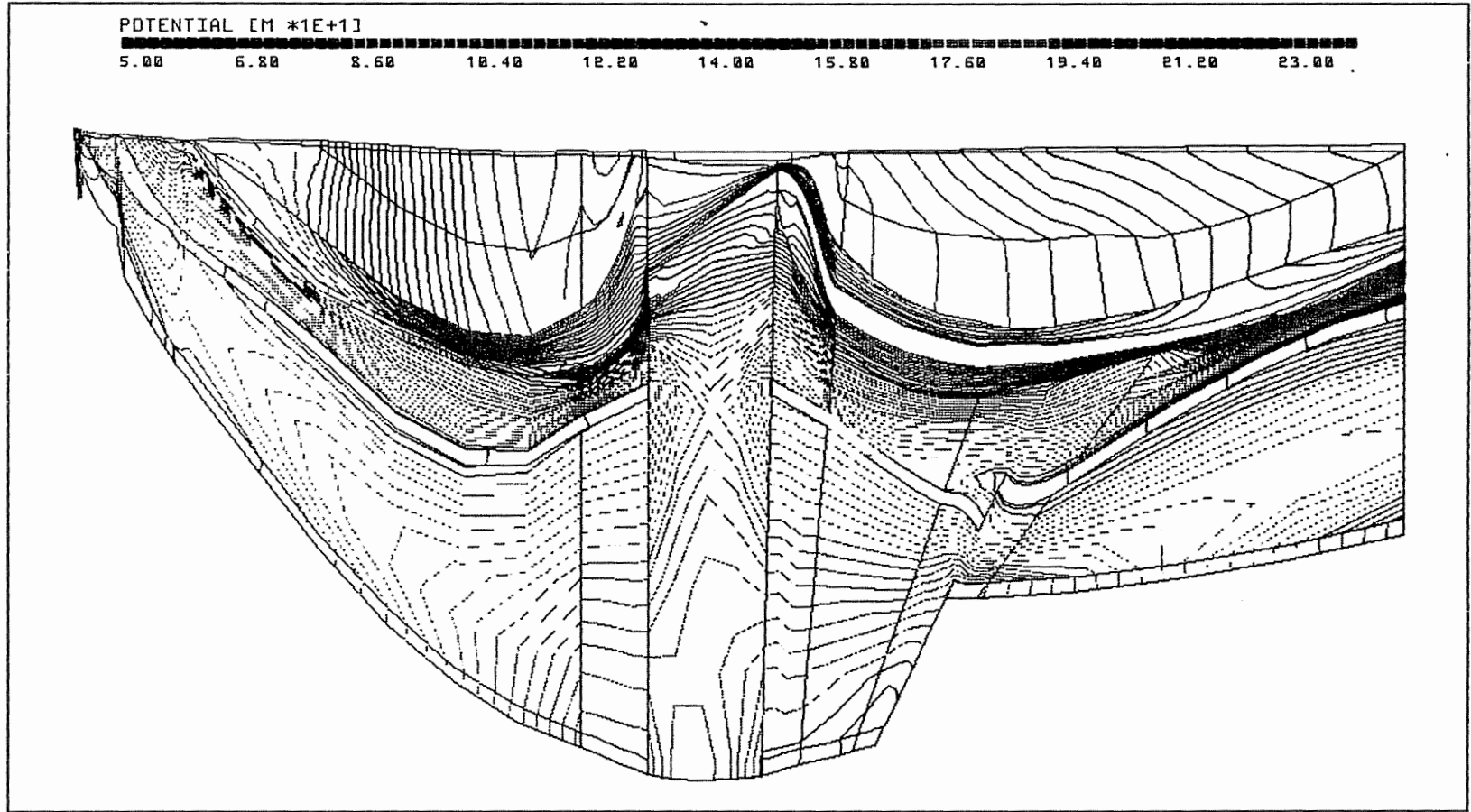
Anh. C11.1.2 Rechenfall R11: Potentiale im Schnitt 8-9

PTB.XYZ(Z\*3.0) SCHNITT12.EL PTB\_R11.RES 111/0



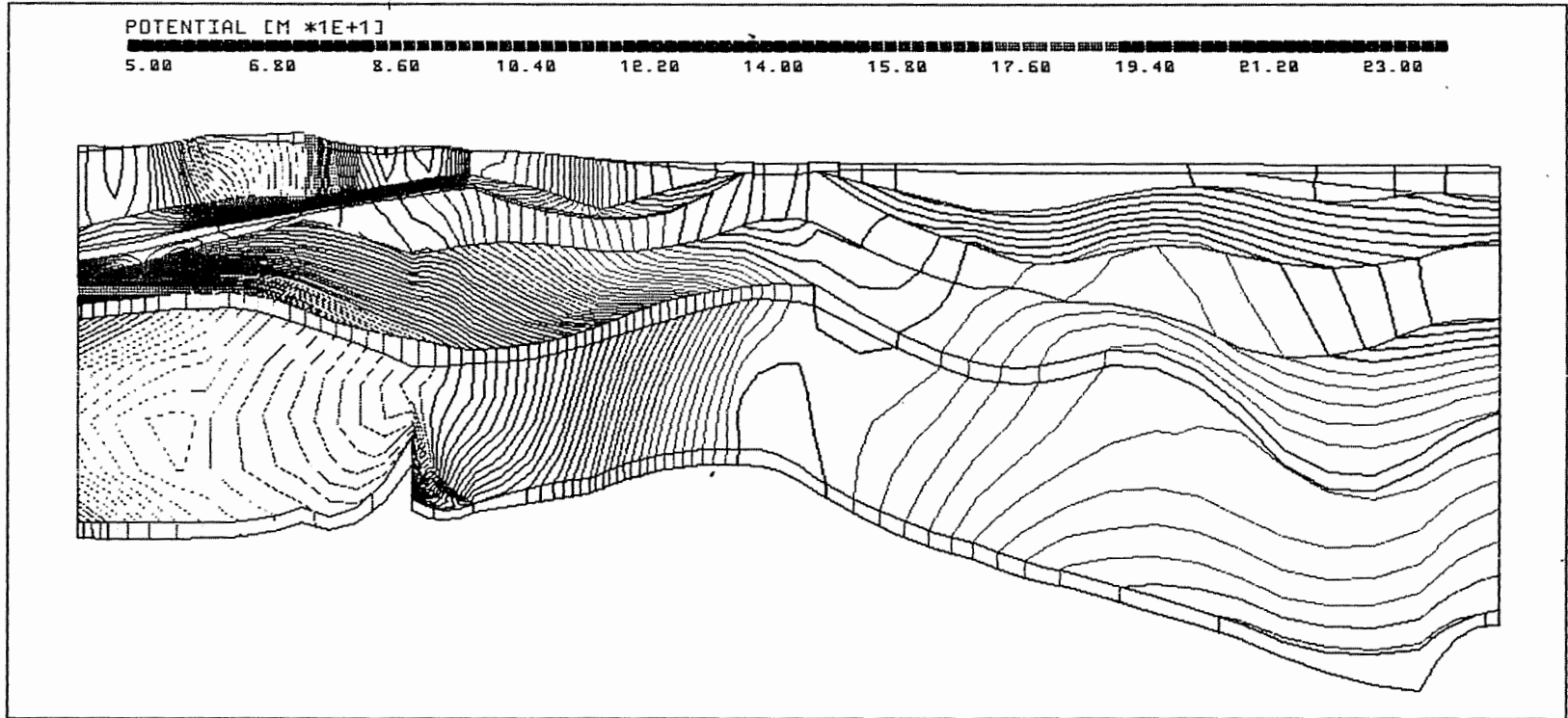
Anh. C11.1.3 Rechenfall R11: Potentiale im Schnitt 12

PTB.XYZ(Z\*2.0) SCHNITT15.EL PTB\_R11.RES 180/0



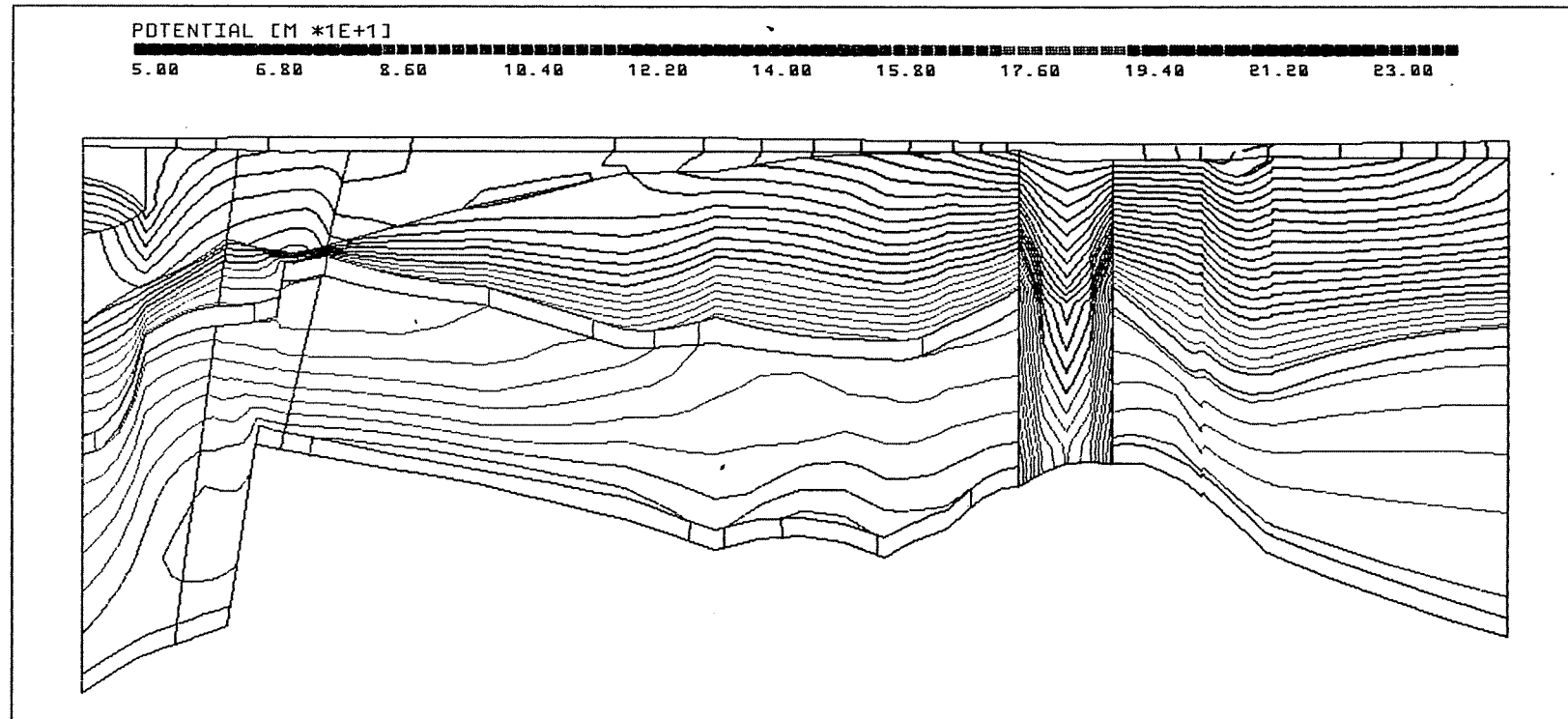
Anh. C11.1.4 Rechenfall R11: Potentiale im Schnitt 15

PTB.XYZ(Z\*5.0) SCHNITT16.EL PTB\_R11.RES 90/0



Anh. C11.1.5 Rechenfall R11: Potentiale im Schnitt 16

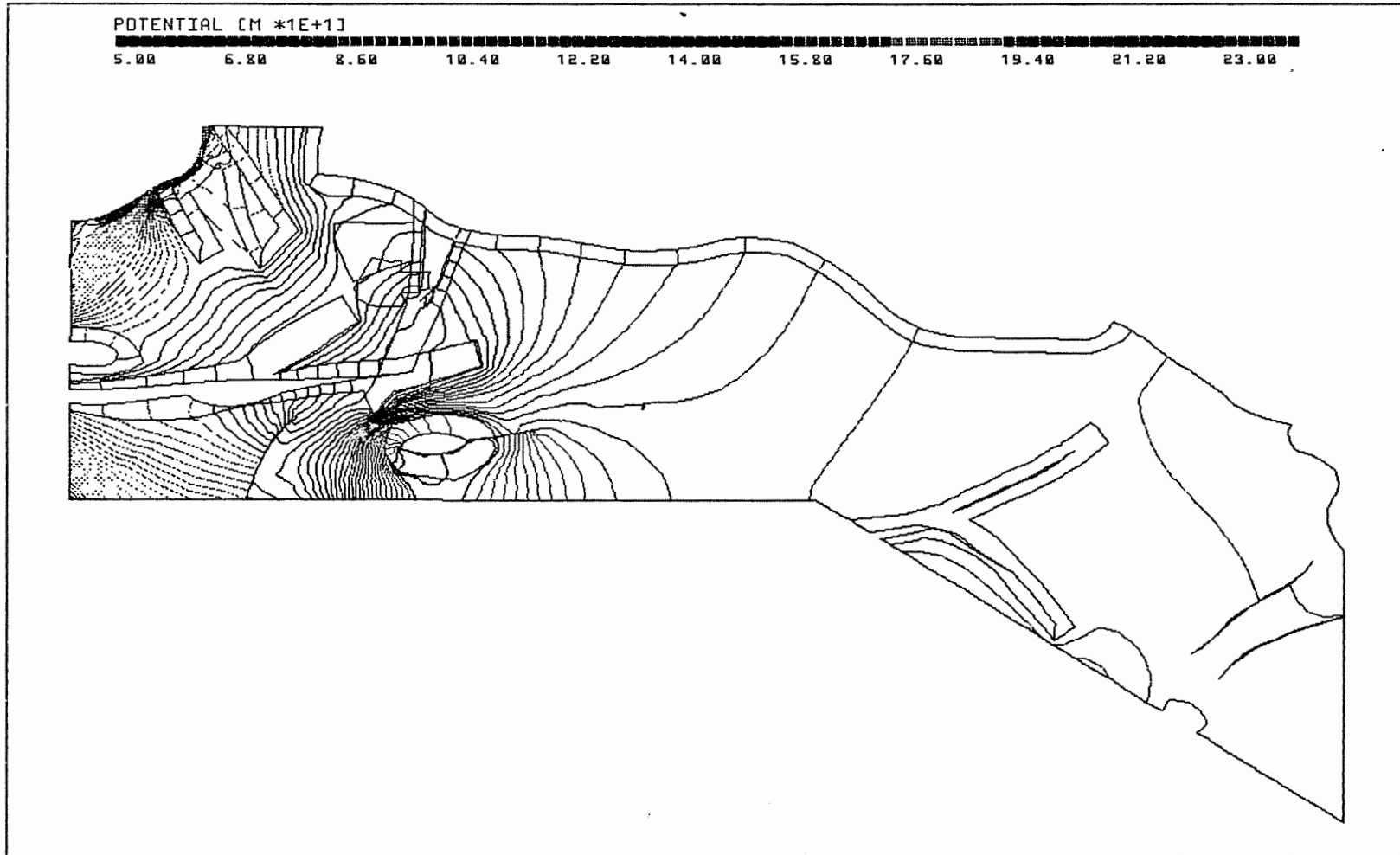
PTB.XYZ(Z\*5.0) SCHNITT17.EL PTB\_R11.RES 122/0



Anh. C11.1.6 Rechenfall R11: Potentiale im Schnitt 17

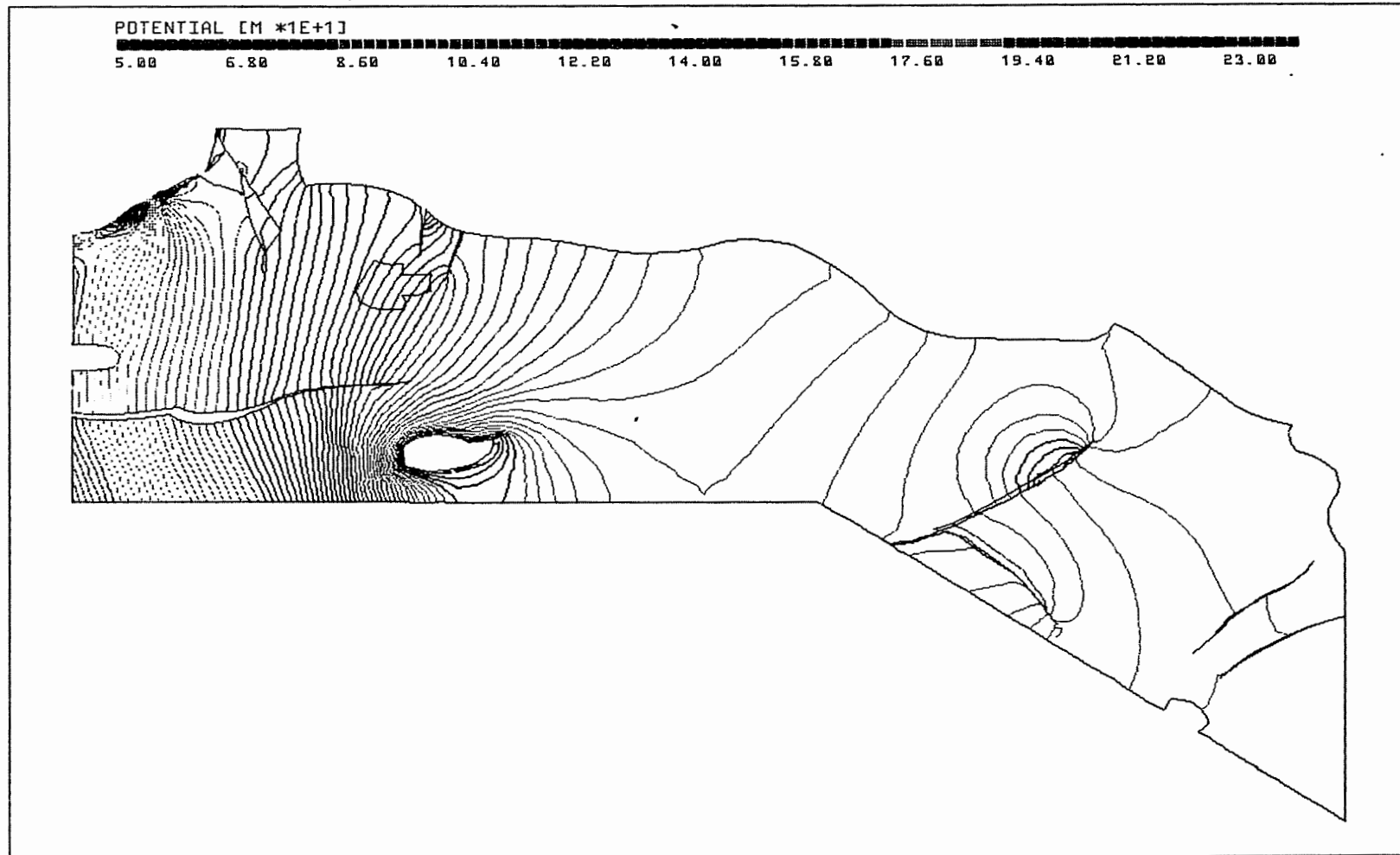


PTB.XYZ MO\_BOT.EL PTB\_R11.RES 90/90



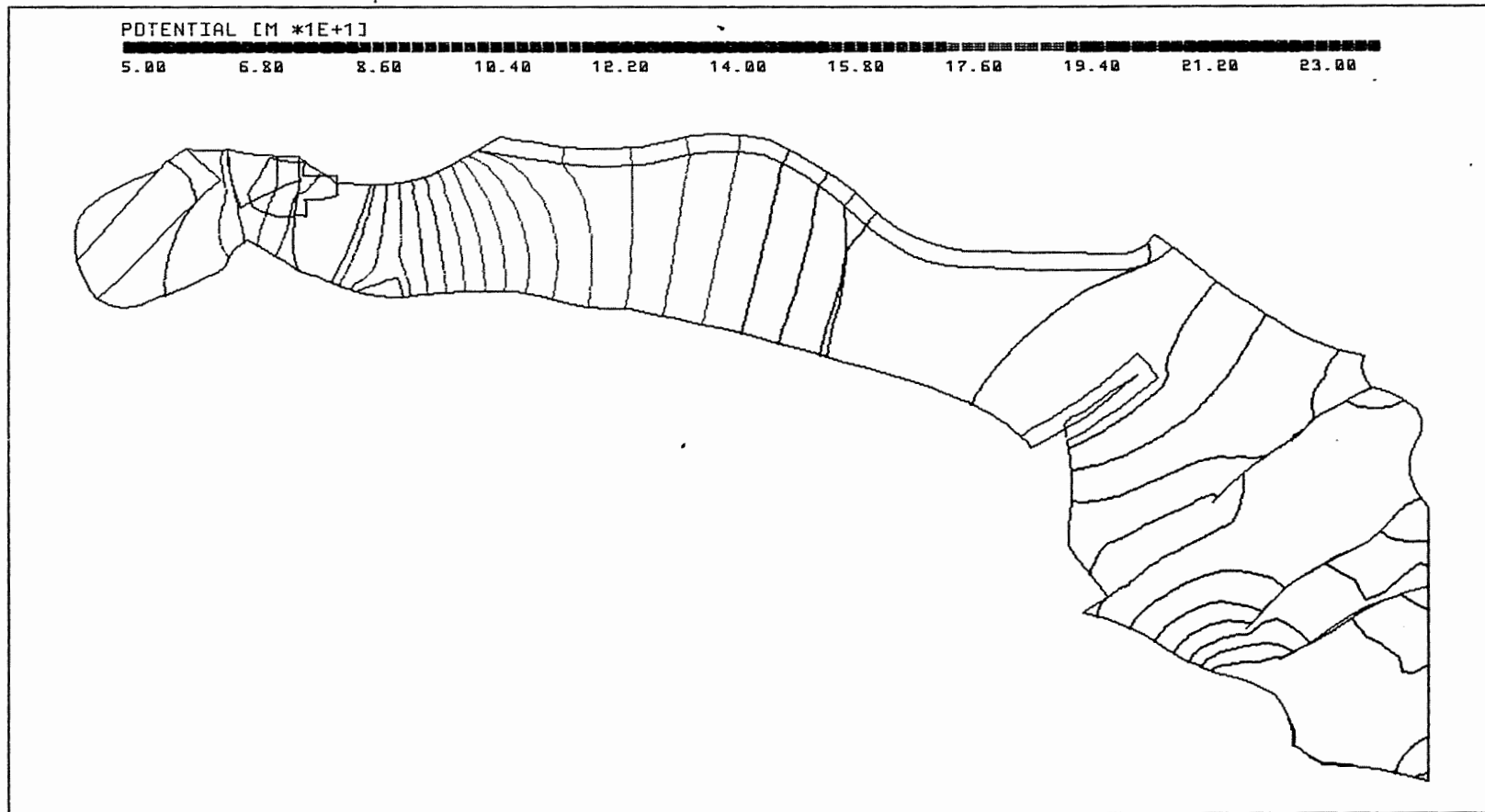
Anh. C11.2.1 Rechenfall R11: Potentiale an der Basis des Oberen Muschelkalks

PTB.XYZ KO\_BOT.EL PTB\_R11.RES 90/90



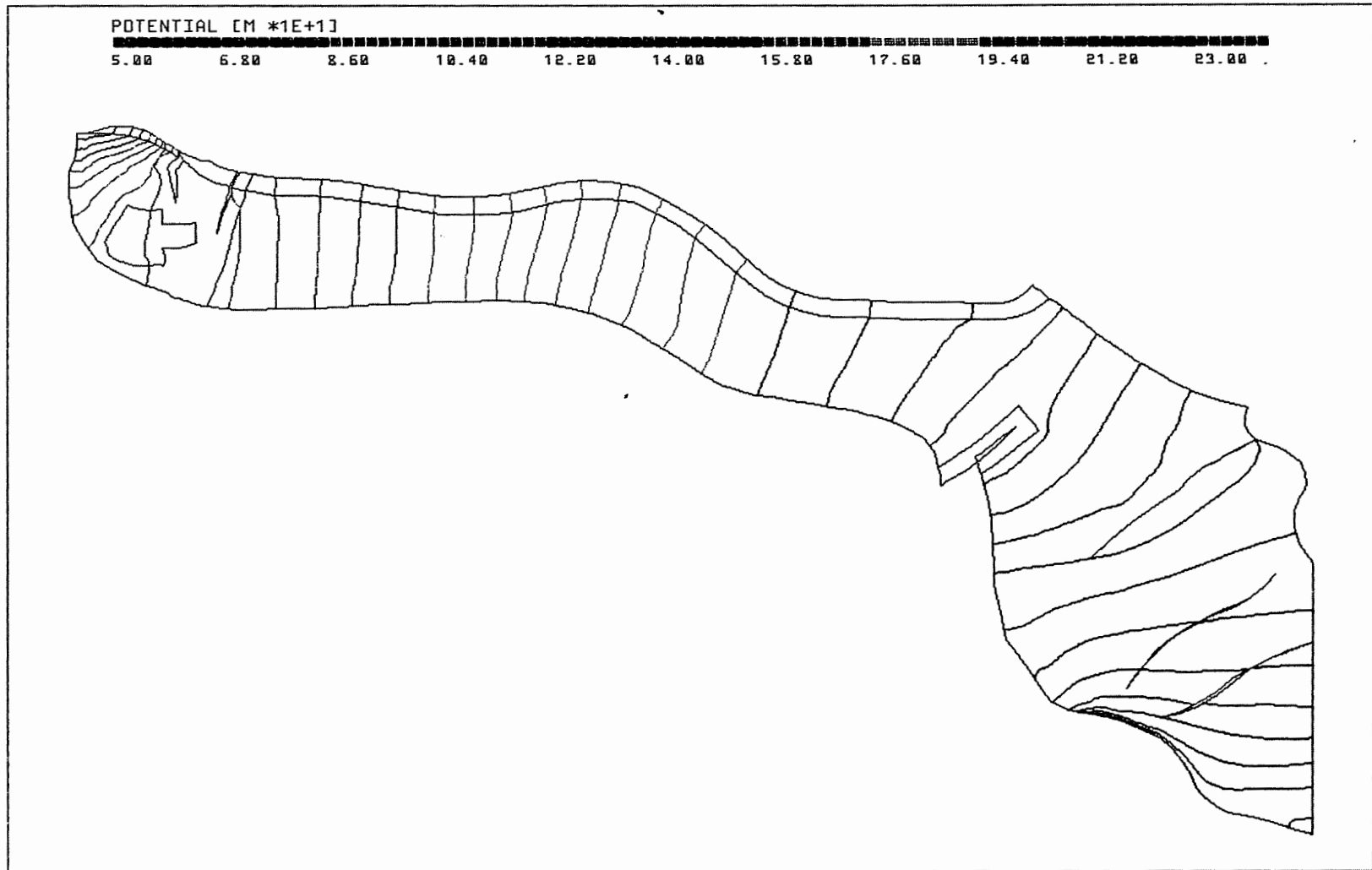
Anh. C11.2.2 Rechenfall R11: Potentiale an der Basis des Rhät

PTB.XYZ C\_BOT.EL PTB\_R11.RES 90/90



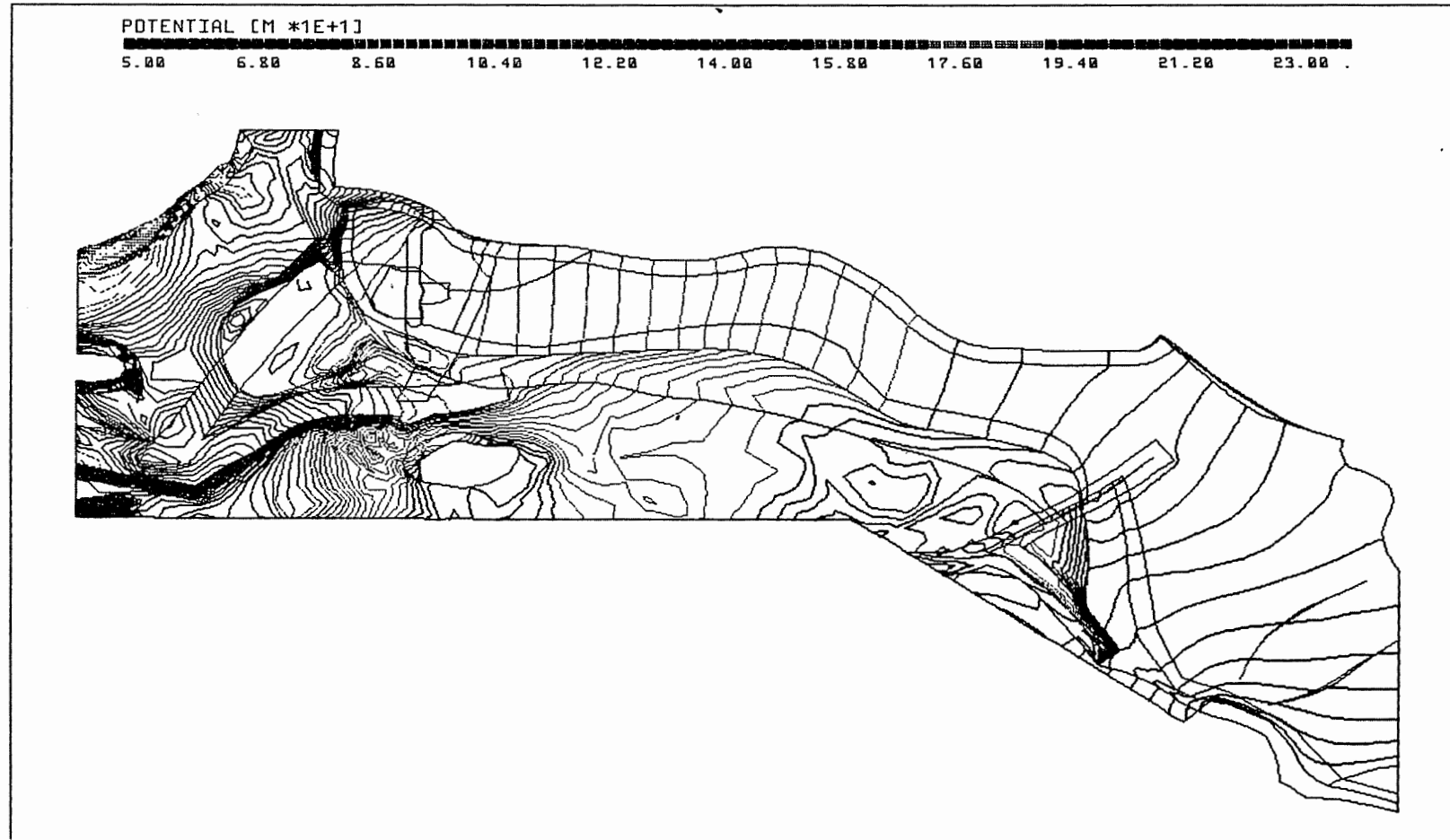
Anh. C11.2.3 Rechenfall R11: Potentiale an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ OX\_BOT.EL PTB\_R11.RES 90/90



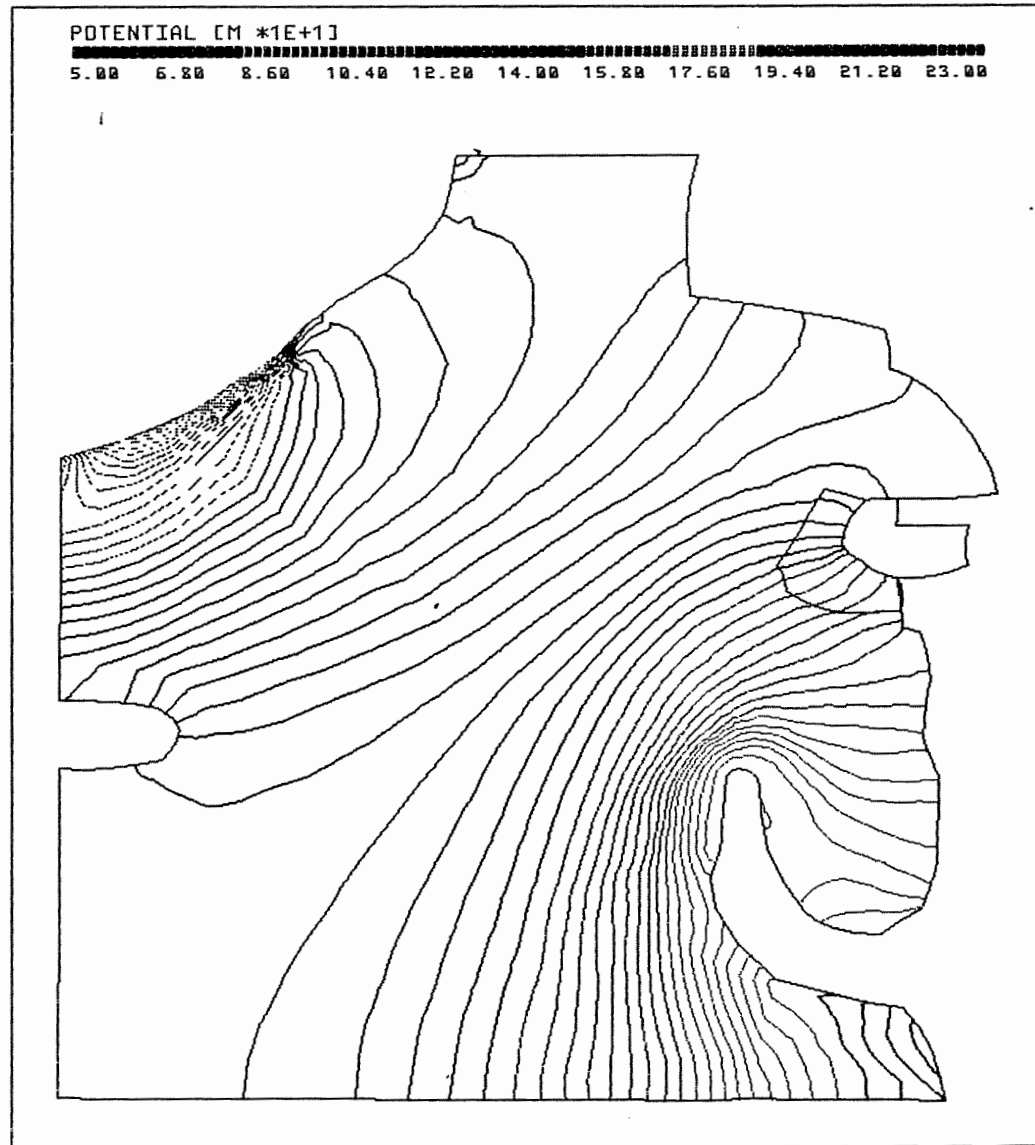
Anh. C11.2.4 Rechenfall R11: Potentiale an der Basis des Oxford

PTB.XYZ KRU\_BOT.EL PTB\_R11.RES 90/90



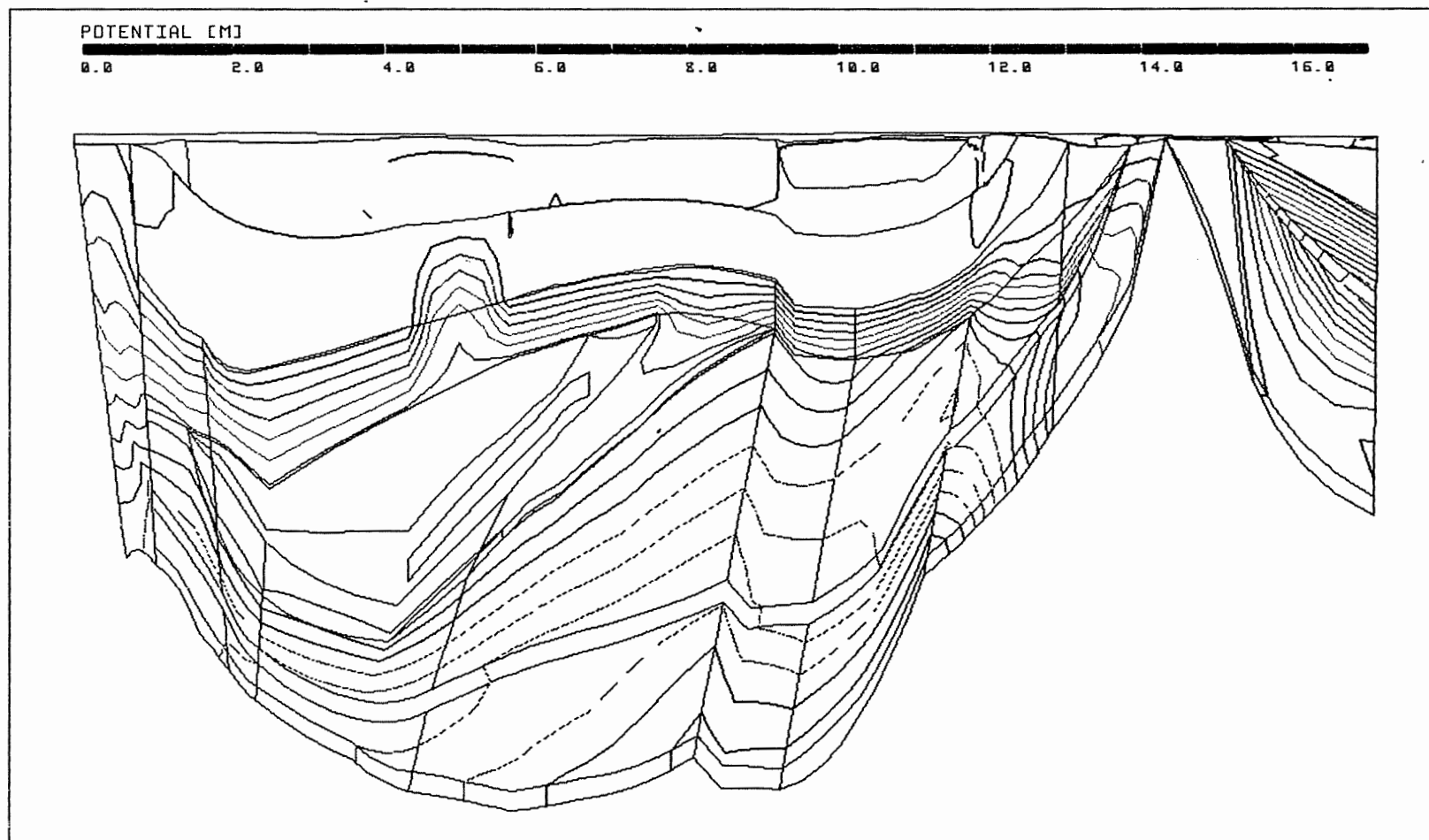
Anh. C11.2.5 Rechenfall R11: Potentiale an der Basis der Unterkreide

PTB.XYZ HL\_BOT.EL PTB\_R11.RES 90/90



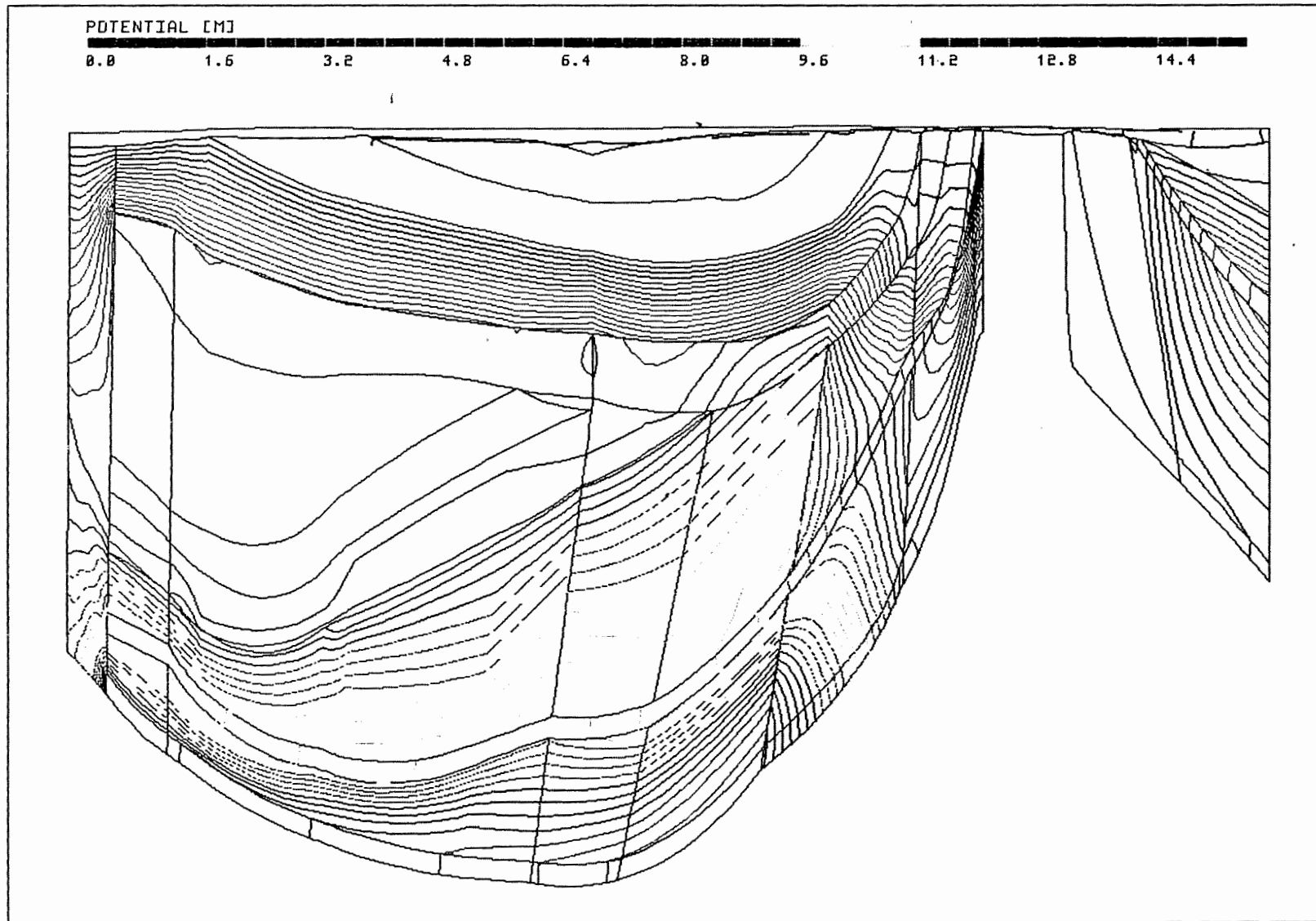
Anh. C11.2.6 Rechenfall R11: Potentiale an der Basis des Hilssandsteins

PTB.XYZ(Z\*3.0) SCHNITT4.EL R11-R01.DIF 177/0



Anh. C11.3.1 Rechenfall R11: Potentialunterschiede R11-R01,  
Schnitt 4

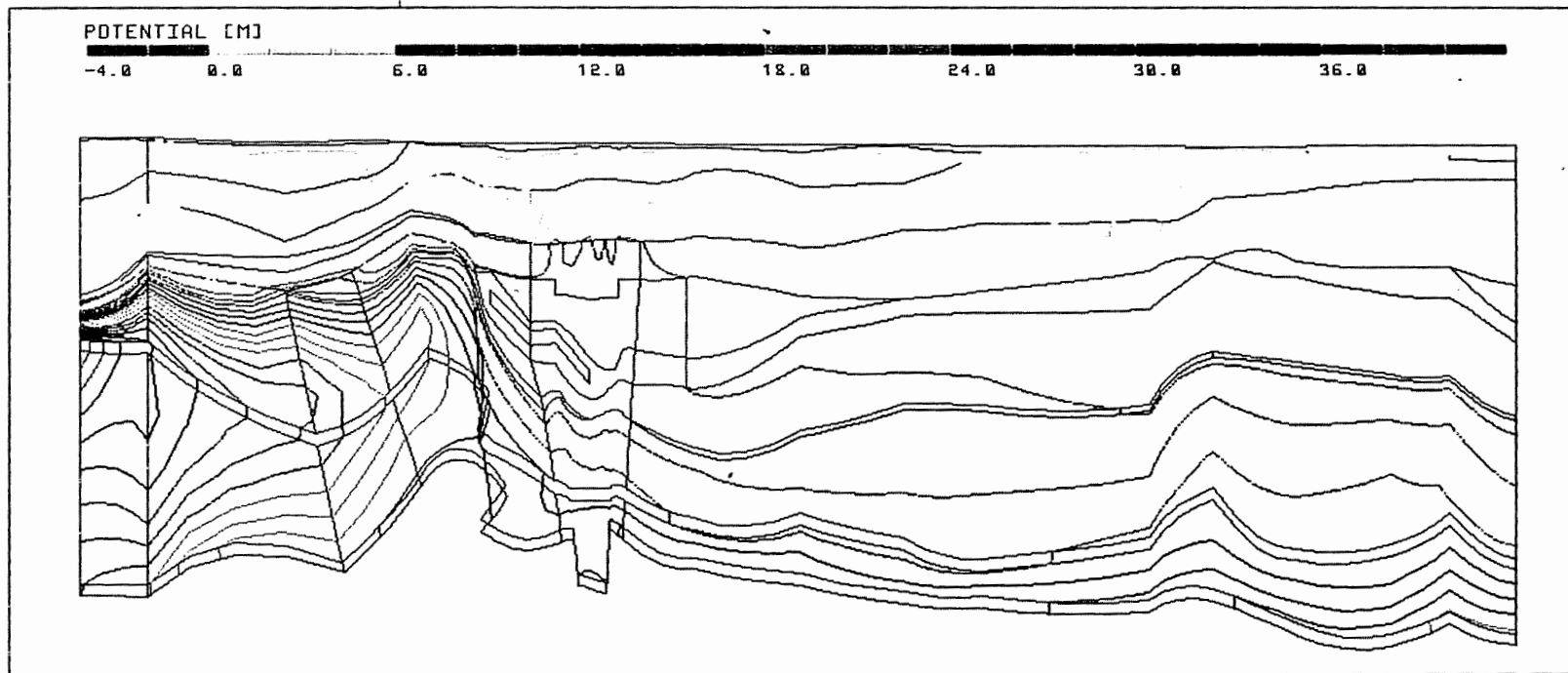
PTB.XYZ(Z\*3.0) SCHNITT5.EL R11-R01.DIF 186/0



Anh. C11.3.2 Rechenfall R11: Potentialunterschiede R11-R01, Schnitt 5

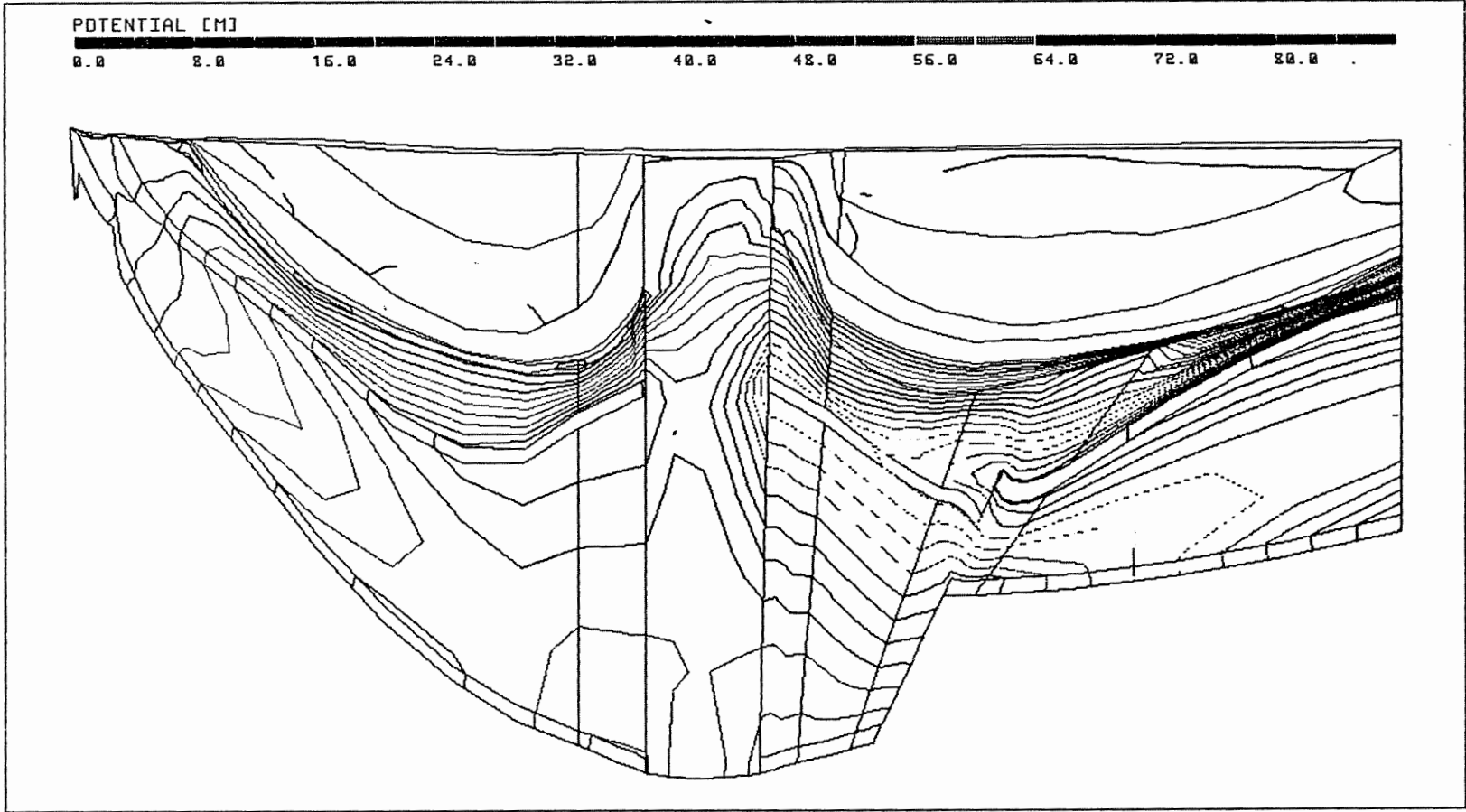


PTB.XYZ(Z\*5.0) SCHNITT8\_9.EL R11-R01.DIF 96/0



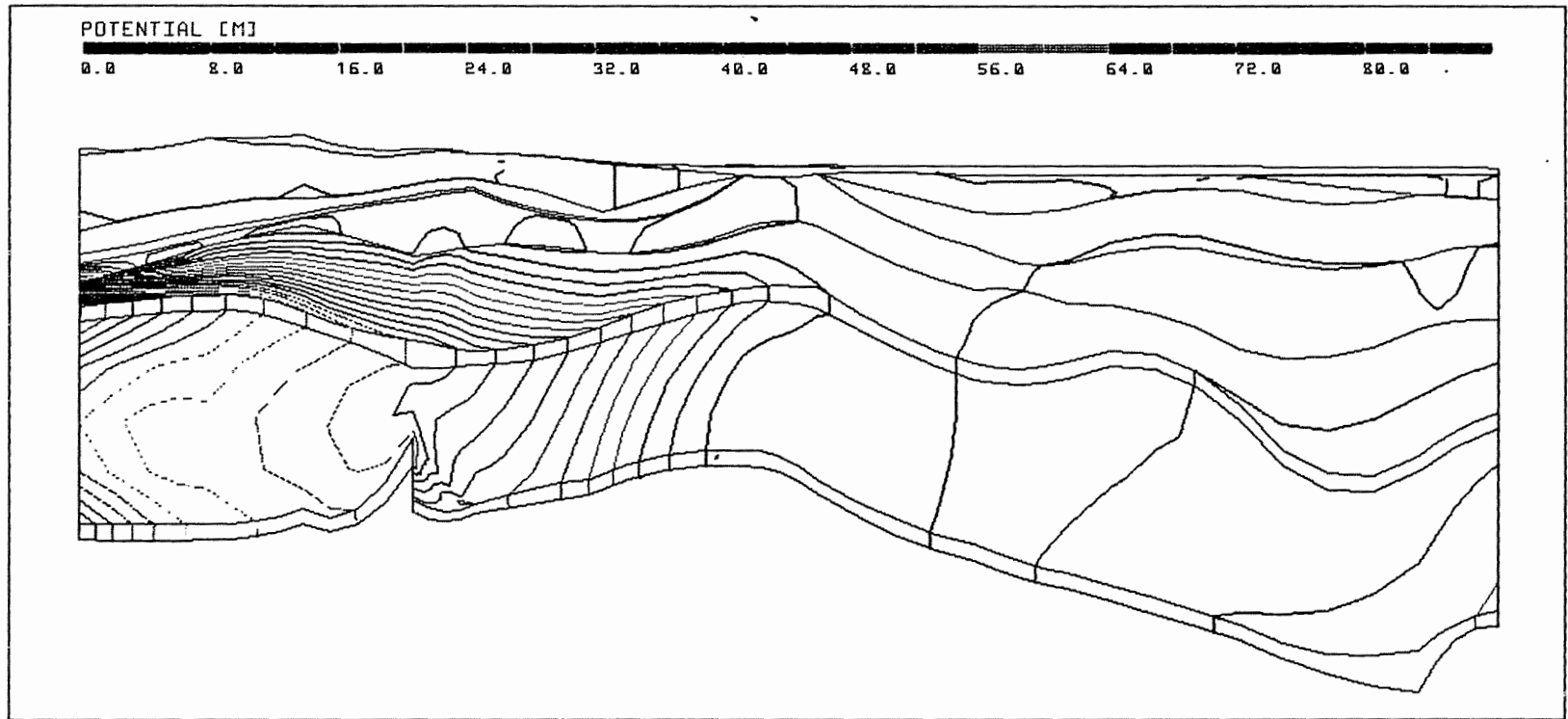
Anh. C11.3.3 Rechenfall R11: Potentialunterschiede R11-R01,  
Schnitt 8-9

PTB.XYZ(Z\*2.0) SCHNITT15.EL R11-R01.DIF 180/0



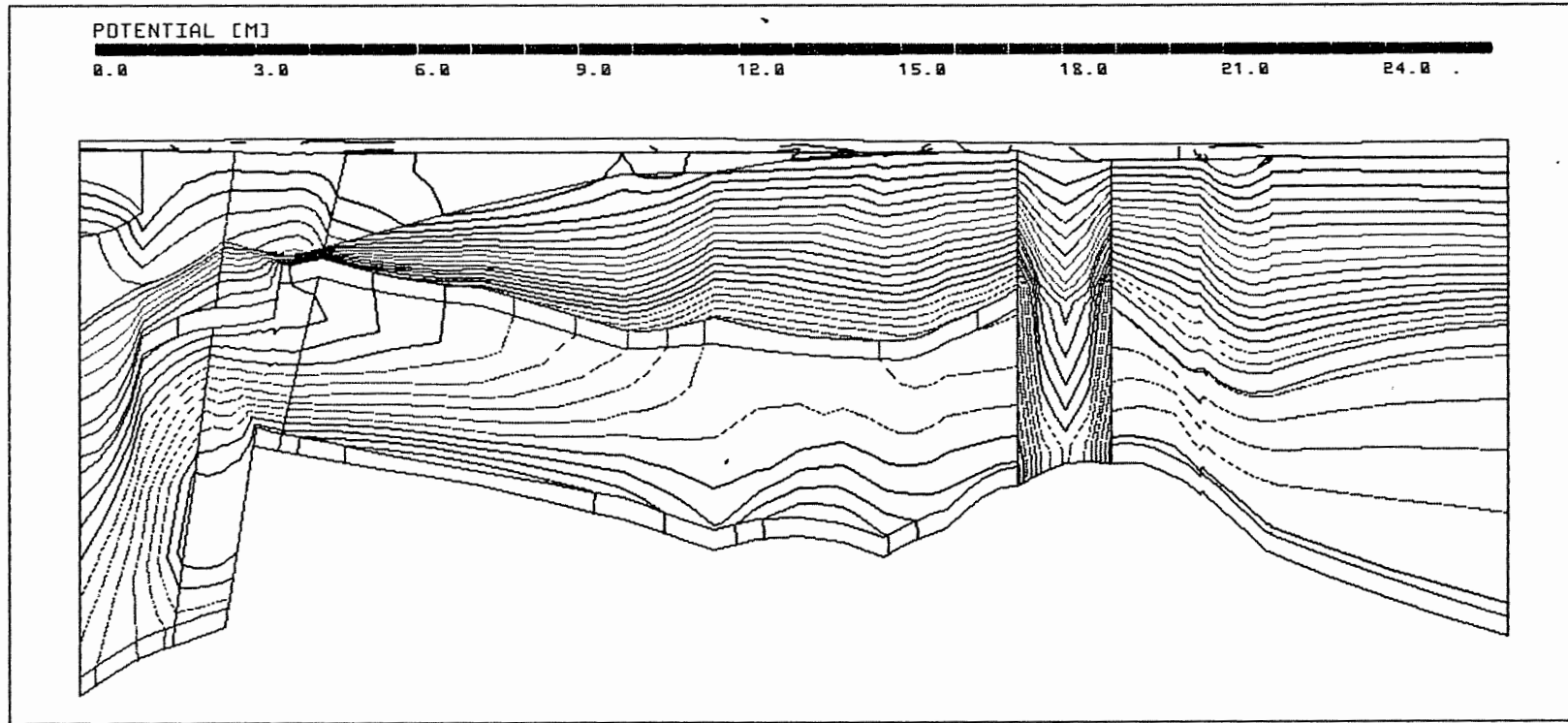
Anh. C11.3.4 Rechenfall R11: Potentialunterschiede R11-R01, Schnitt 15

PTB.XYZ(Z\*5.0) SCHNITT16.EL R11-R01.DIF 90/0



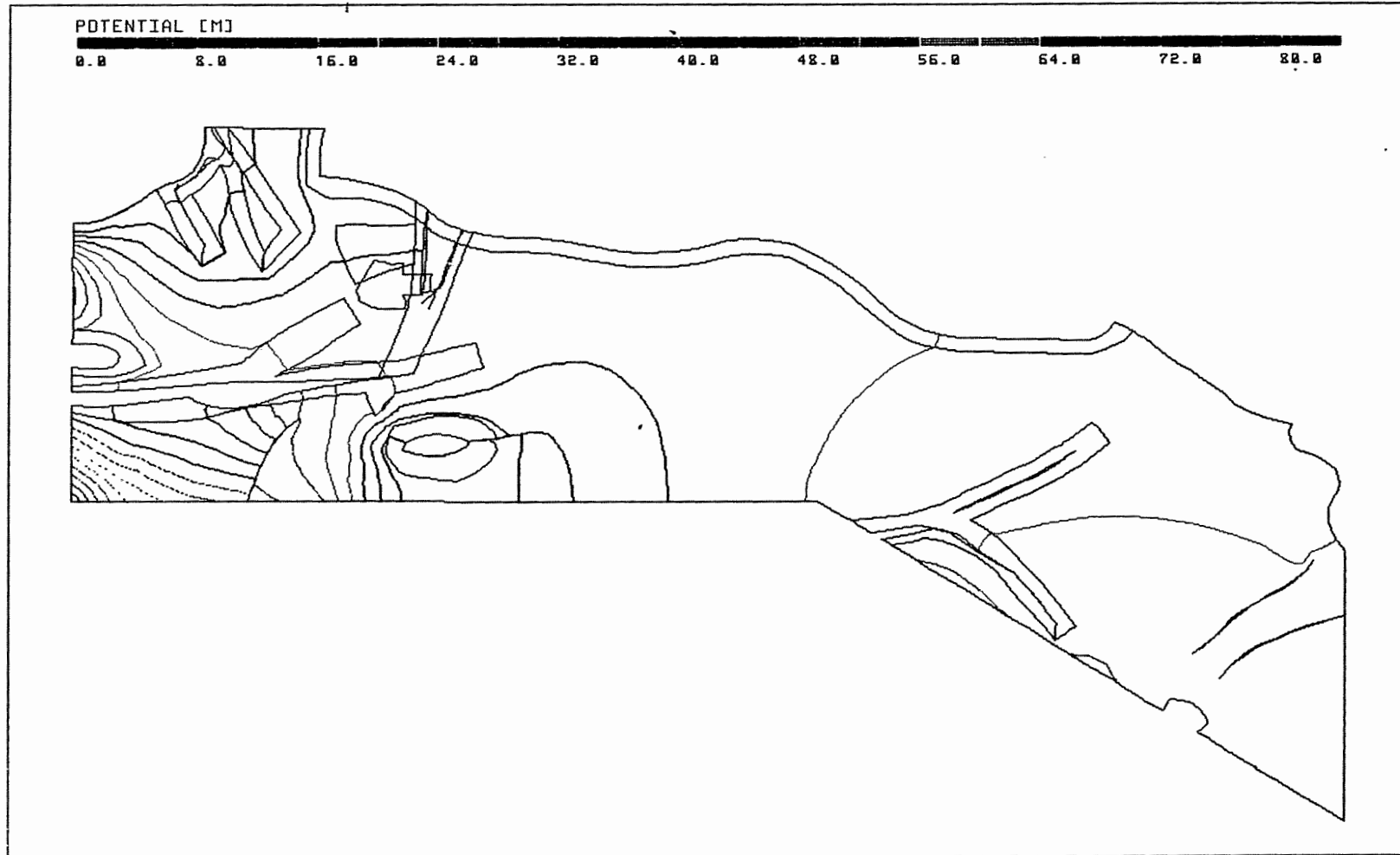
Anh. C11.3.5 Rechenfall R11: Potentialunterschiede R11-R01,  
Schnitt 16

PTB.XYZ(Z\*5.0) SCHNITT17.EL R11-R01.DIF 122/0



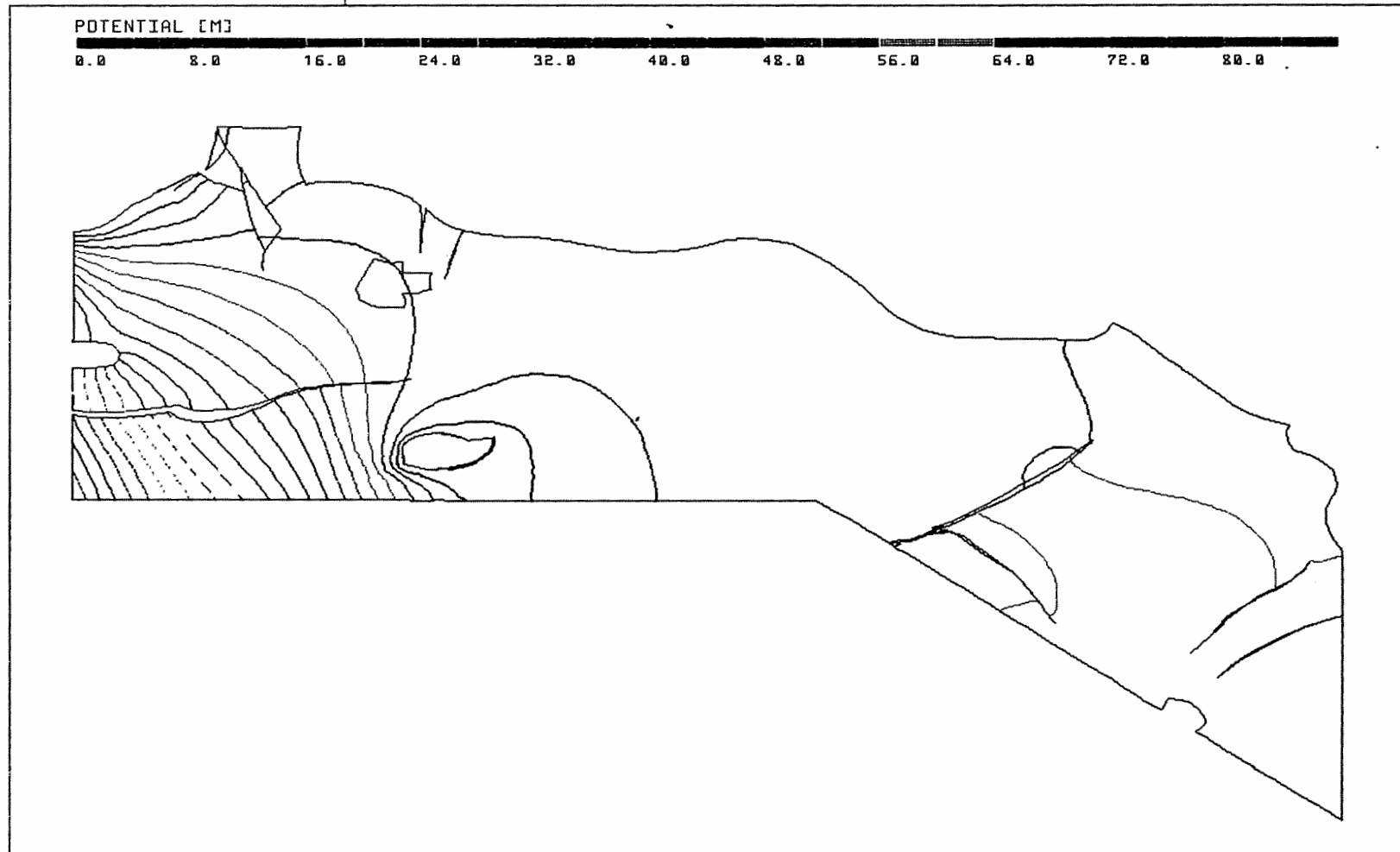
Anh. C11.3.6 Rechenfall R11: Potentialunterschiede R11-R01,  
Schnitt 17

PTB.XYZ MO\_BOT.EL R11-R01.DIF 90/90



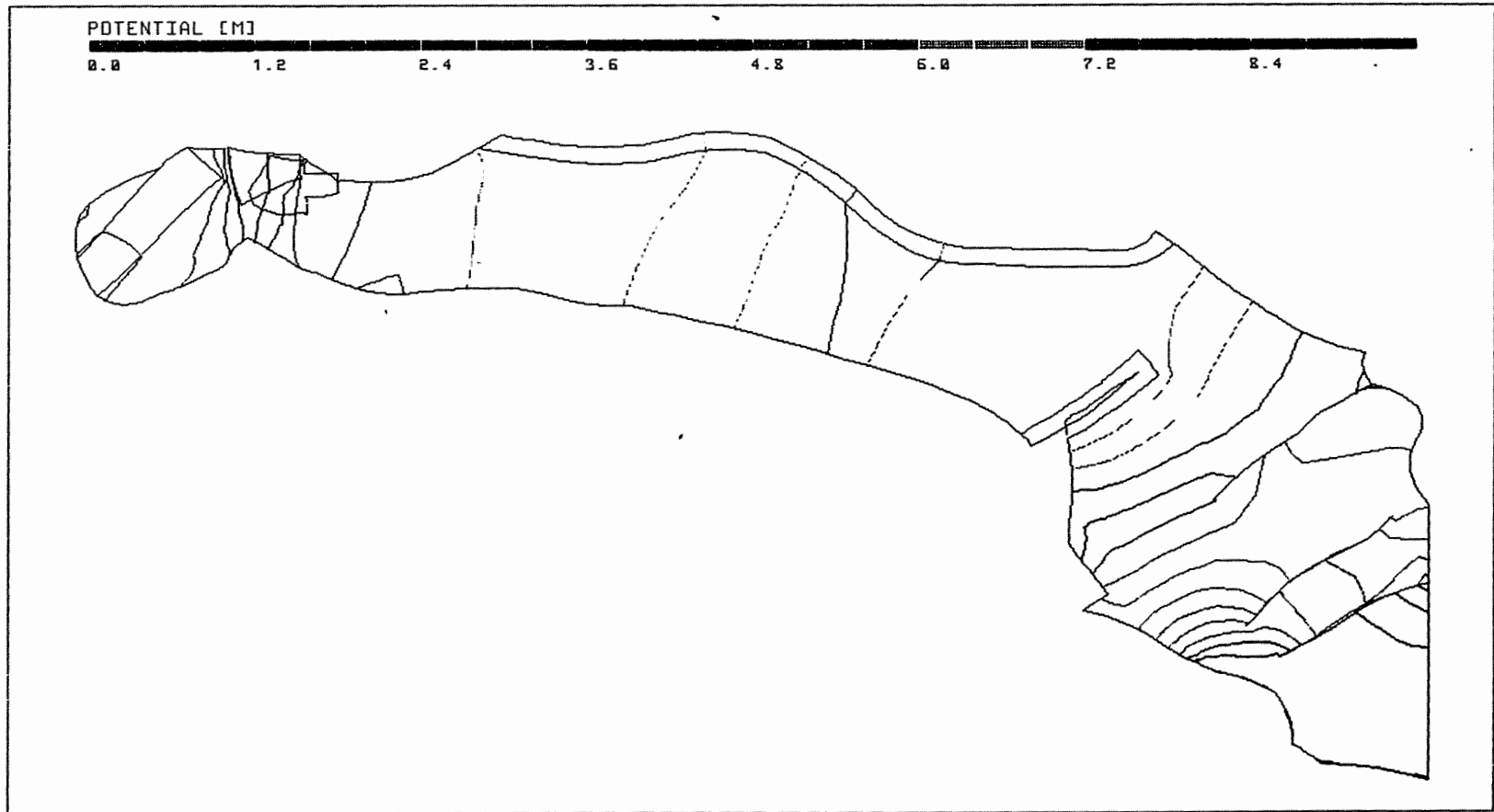
Anh. C11.4.1 Rechenfall R11: Potentialunterschiede R11-R01  
an der Basis des Oberen Muschelkalks

PTB.XYZ KO\_BOT.EL R11-R01.DIF 90/90



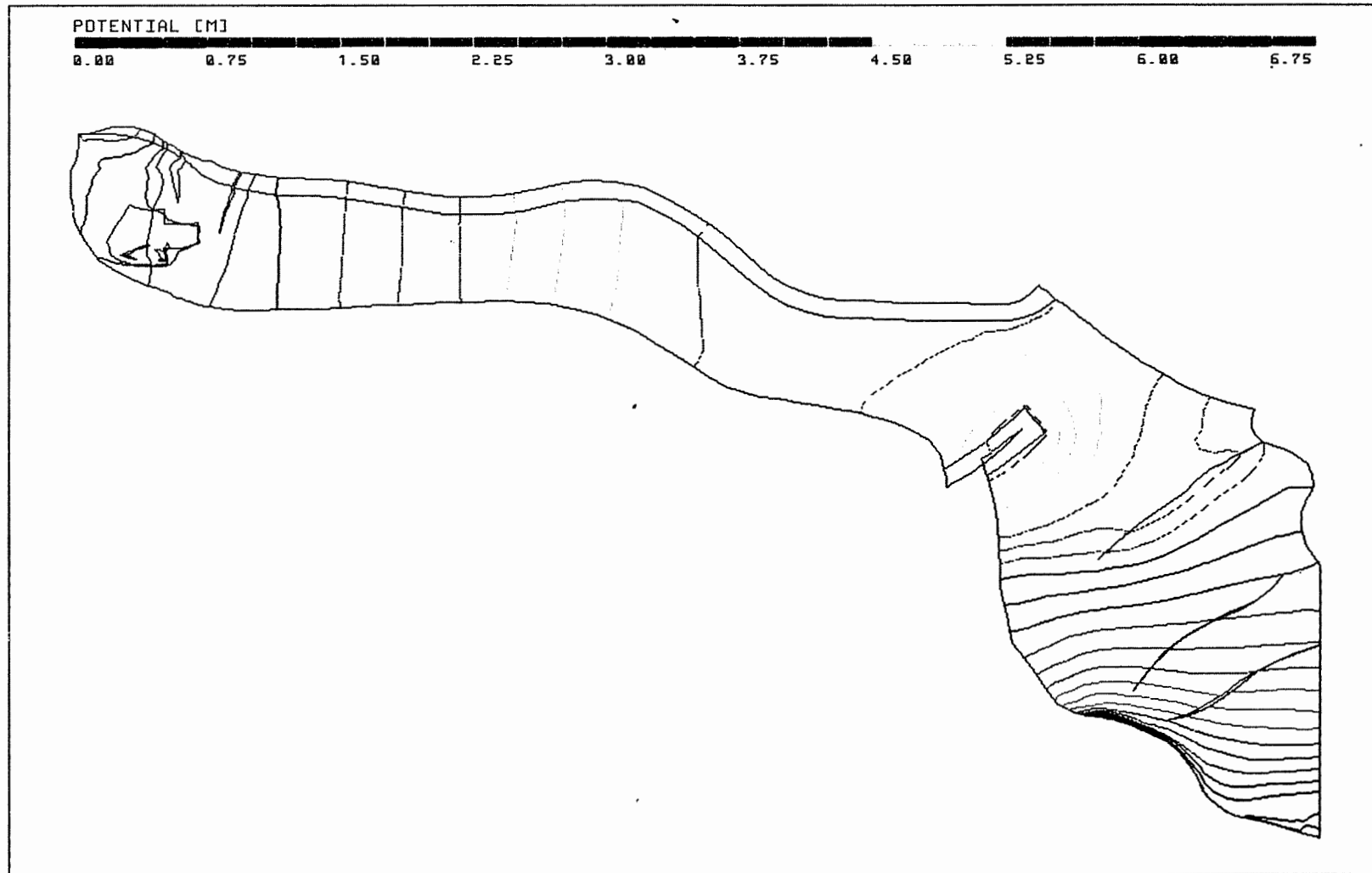
Anh. C11.4.2 Rechenfall R11: Potentialunterschiede R11-R01  
an der Basis des Rhät

PTB.XYZ C\_BOT.EL R11-R01.DIF 90/90



Anh. C11.4.3 Rechenfall R11: Potentialunterschiede R11-R01  
an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

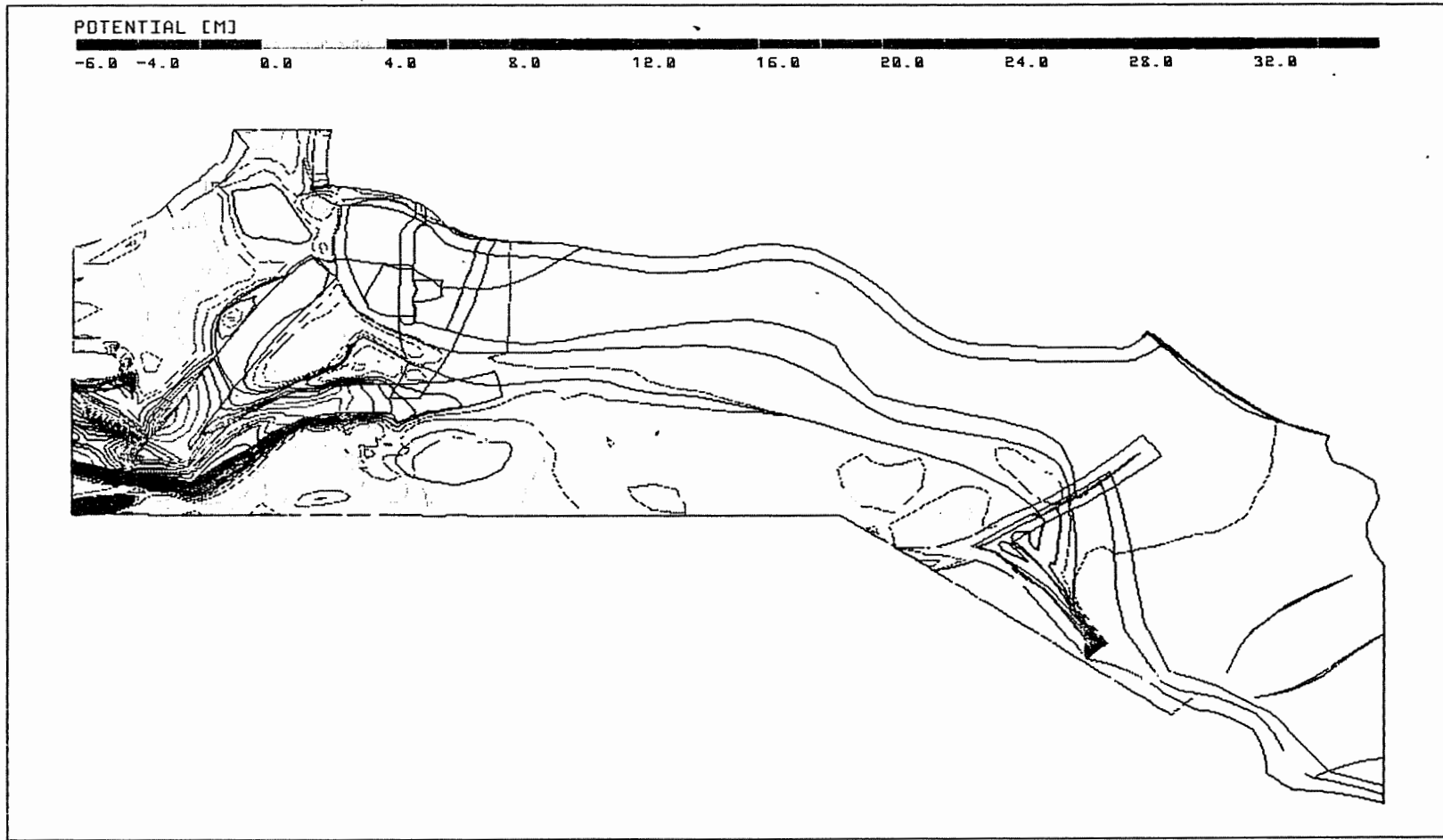
PTB.XYZ OX\_BOT.EL R11-R01.DIF 90/90



Anh. C11.4.4 Rechenfall R11: Potentialunterschiede R11-R01  
an der Basis des Oxford

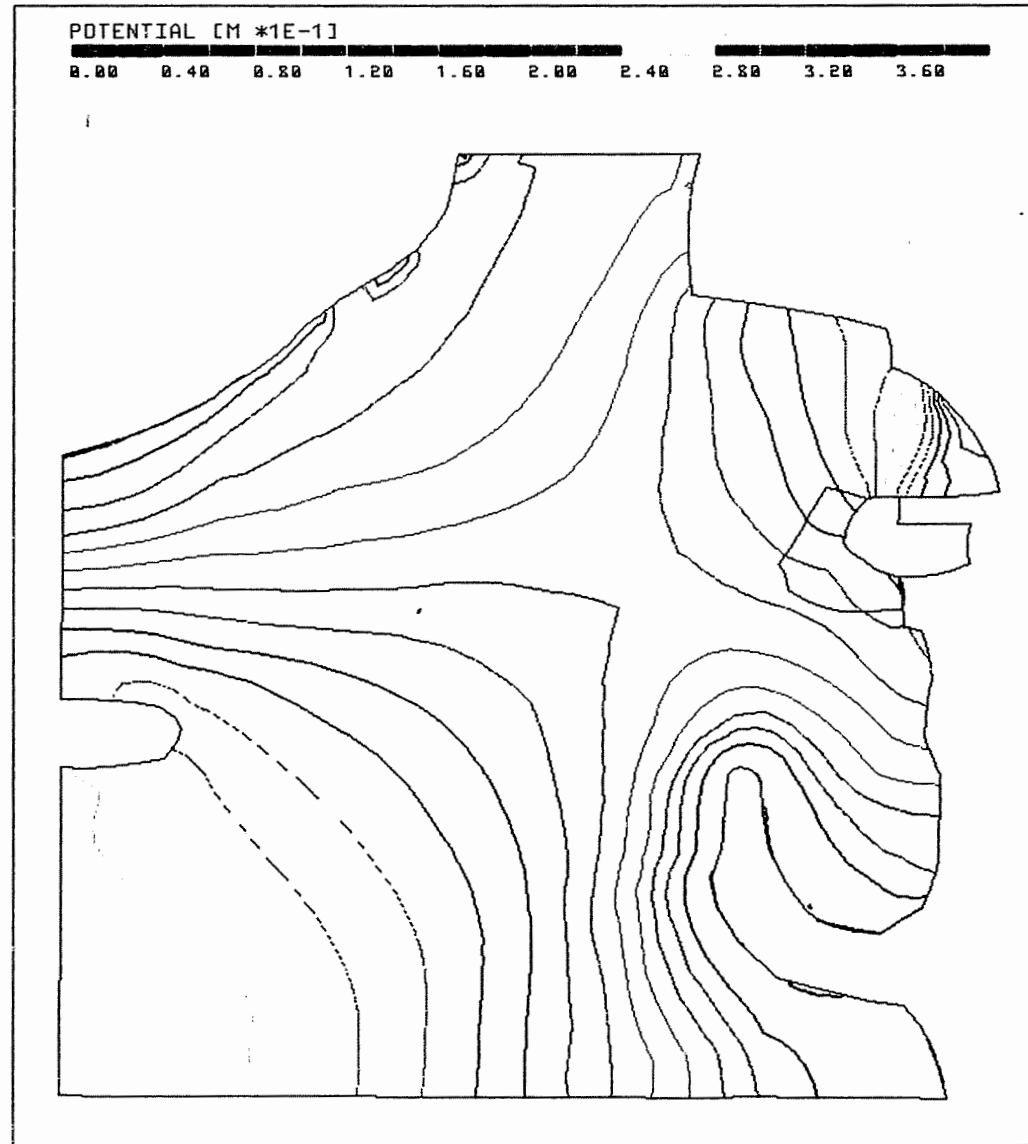


PTB.XYZ KRU\_BOT.EL R11-R01.DIF 90/90



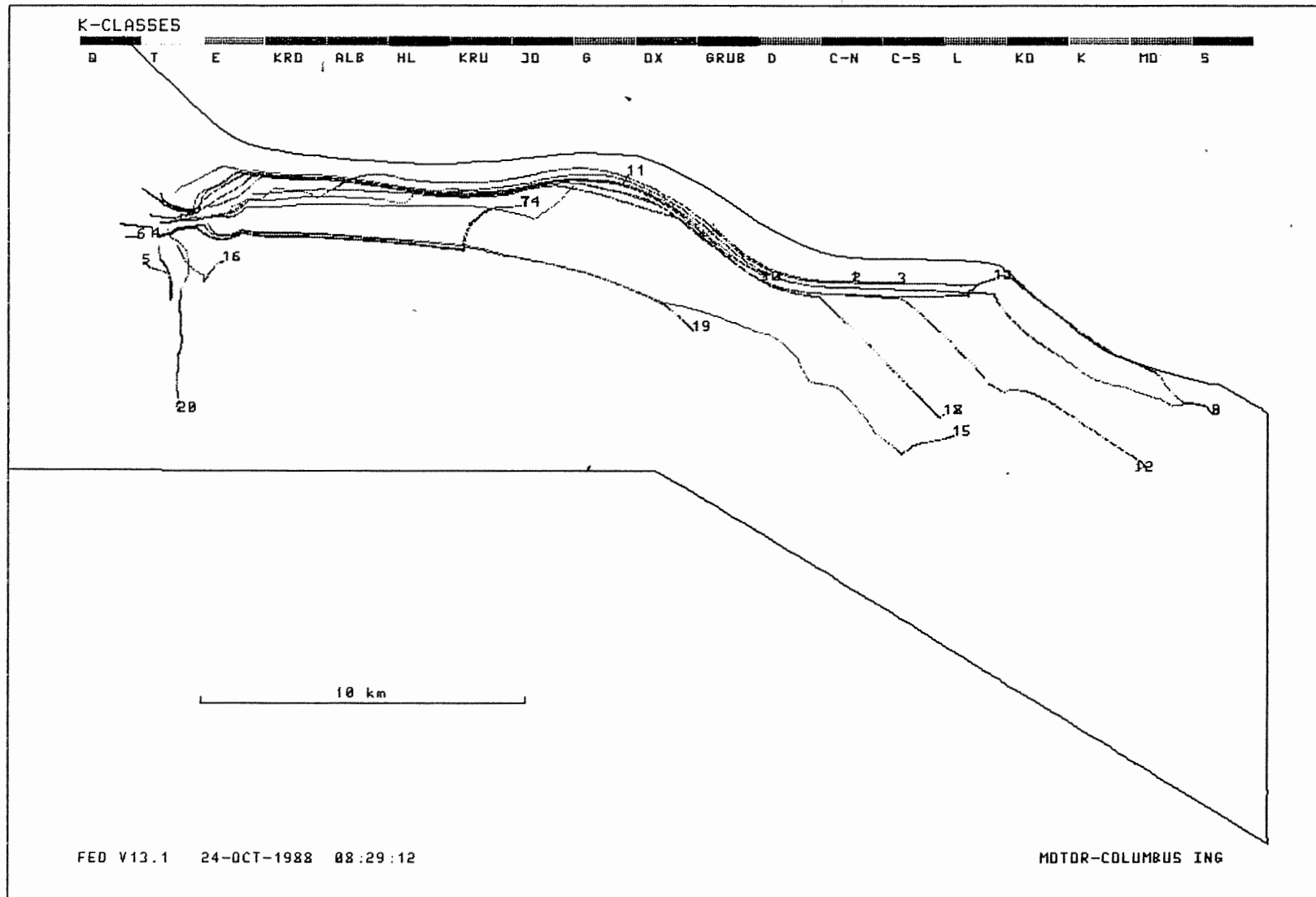
Anh. C11.4.5 Rechenfall R11: Potentialunterschiede R11-R01  
an der Basis der Unterkreide

PTB.XYZ HL\_BOT.EL R11-R01.DIF 90/90



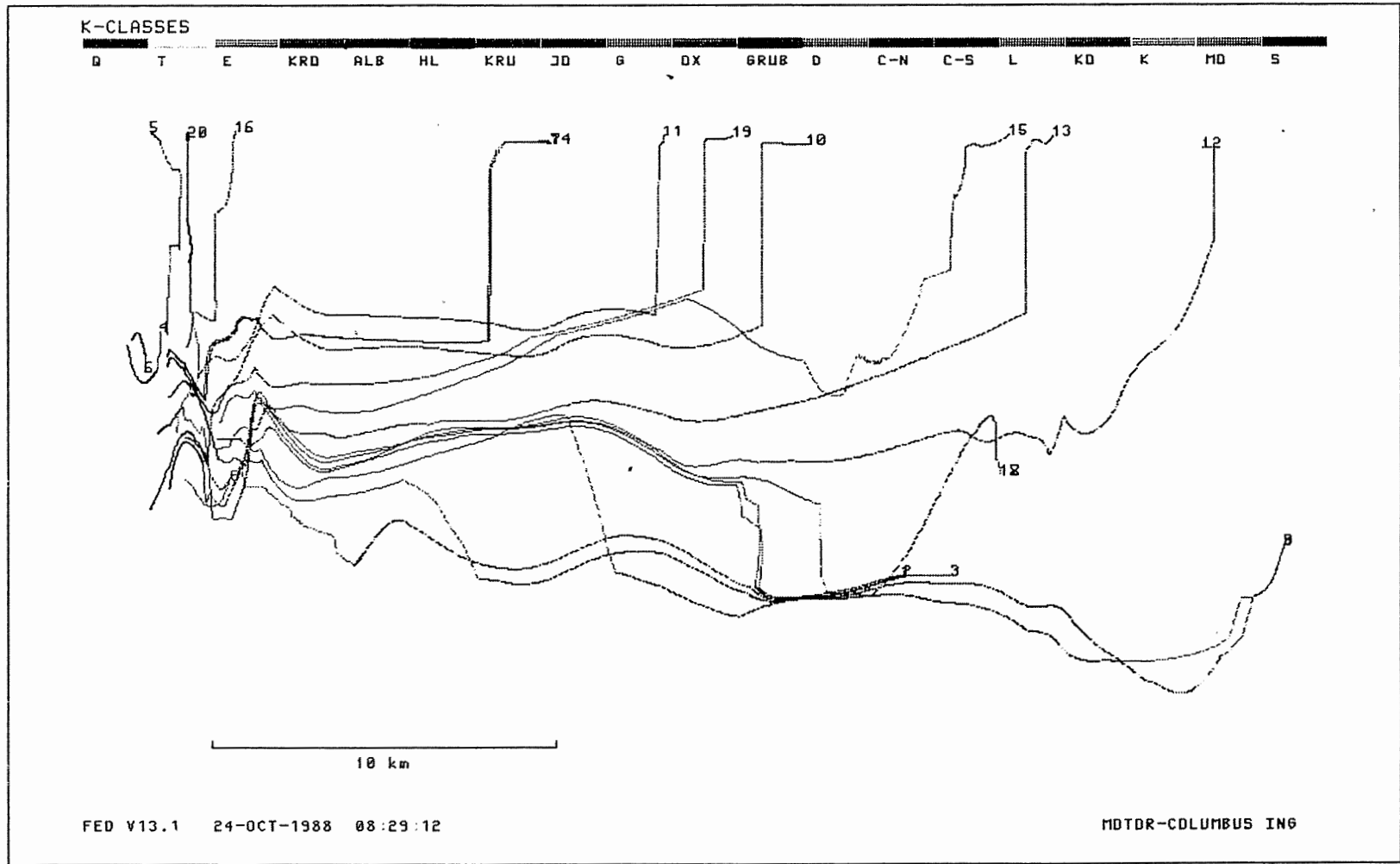
Anh. C11.4.6 Rechenfall 11: Potentialunterschiede R11-R01  
an der Basis des Hilssandsteins

R11: FLIESSWEGE (GRUNDRISS)



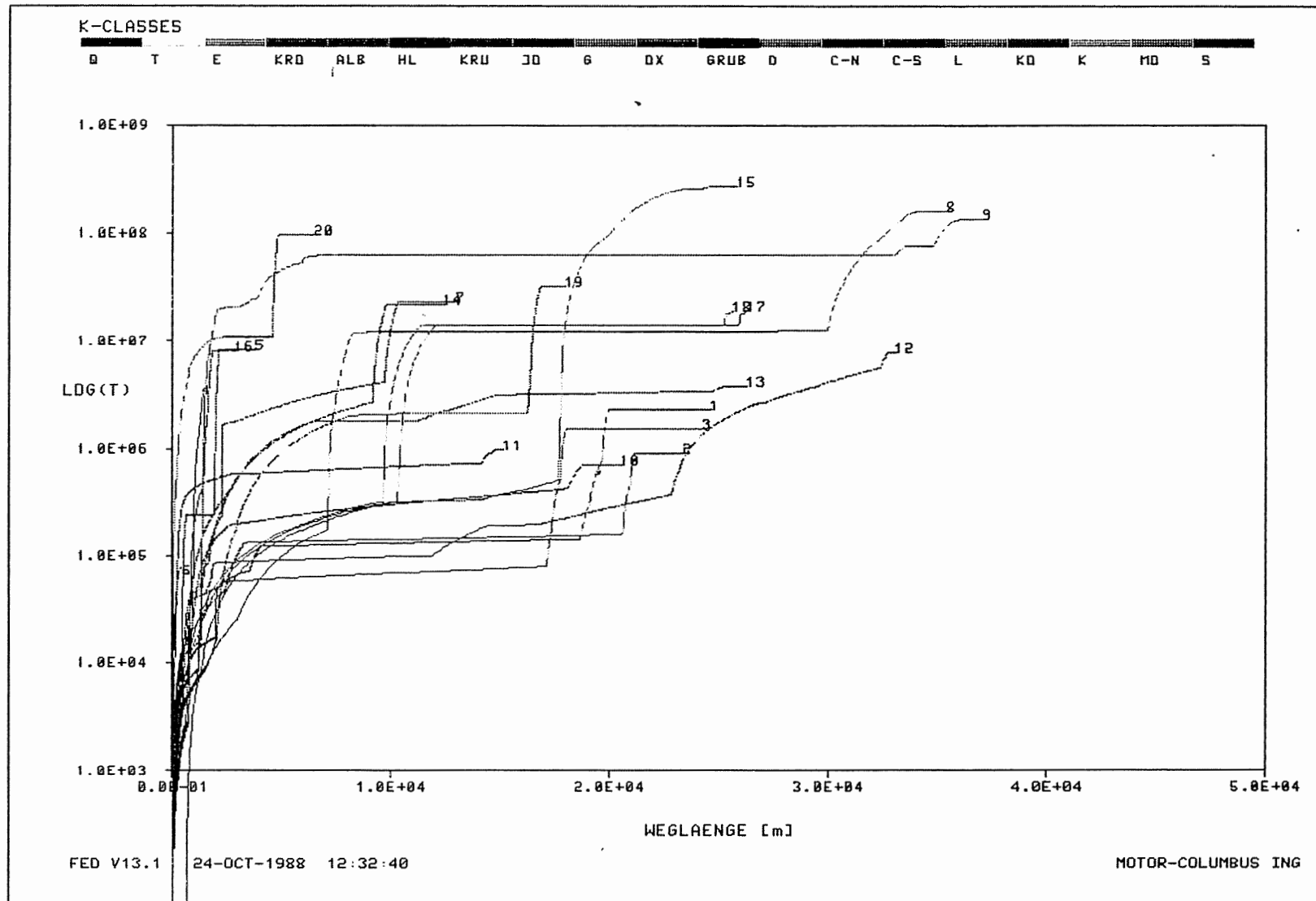
Anh. C11.5.1 Rechenfall R11: Fließwege im Grundriss

R11: FLIESSWEGE (AUFRISS, 8-FACH UEBERHOEHT)



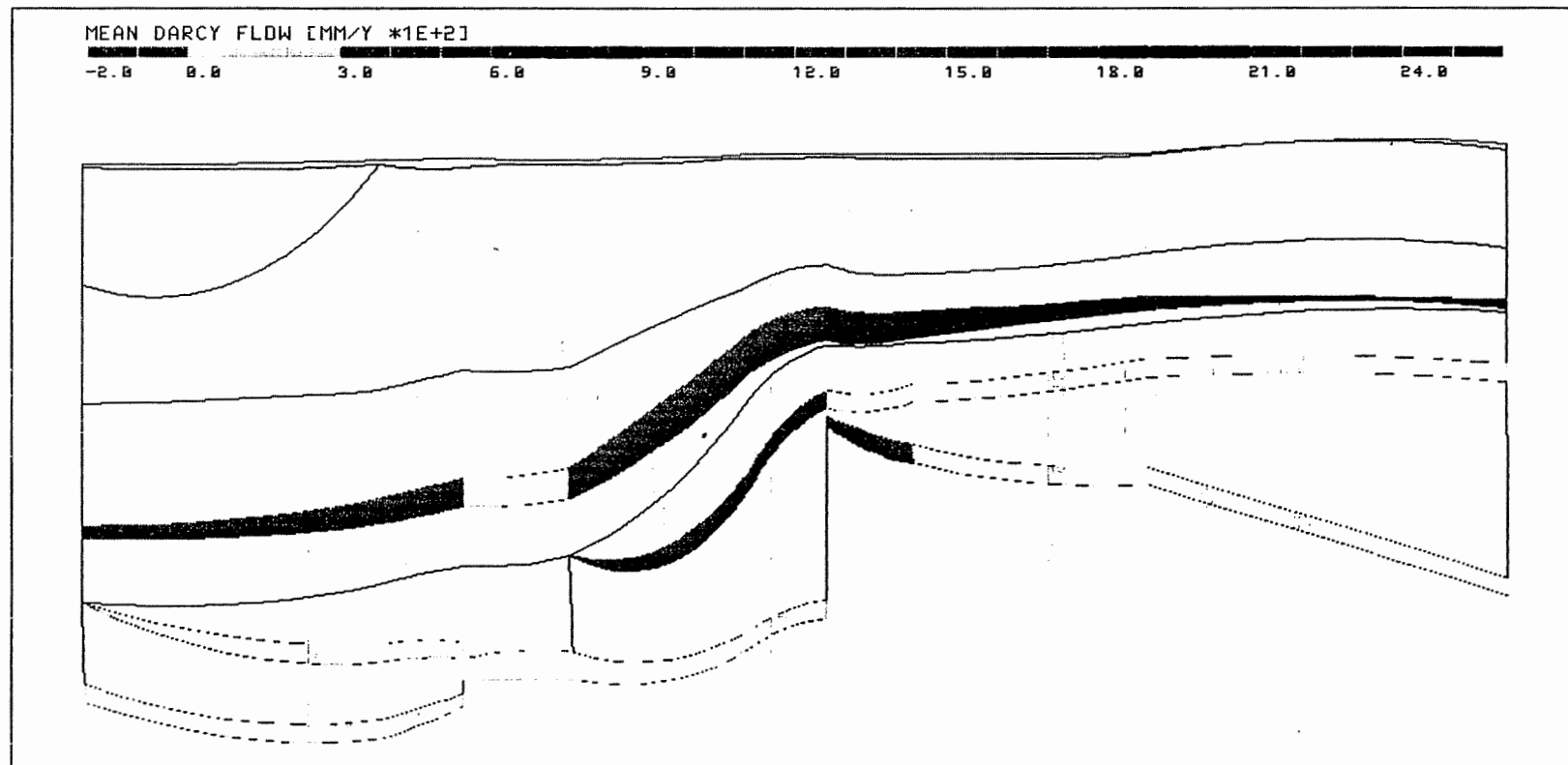
Anh. C11.5.2 Rechenfall R11: Fließwege im Aufriss

R11: WEG-ZEIT-DIAGRAMM DER FIESSWEGE



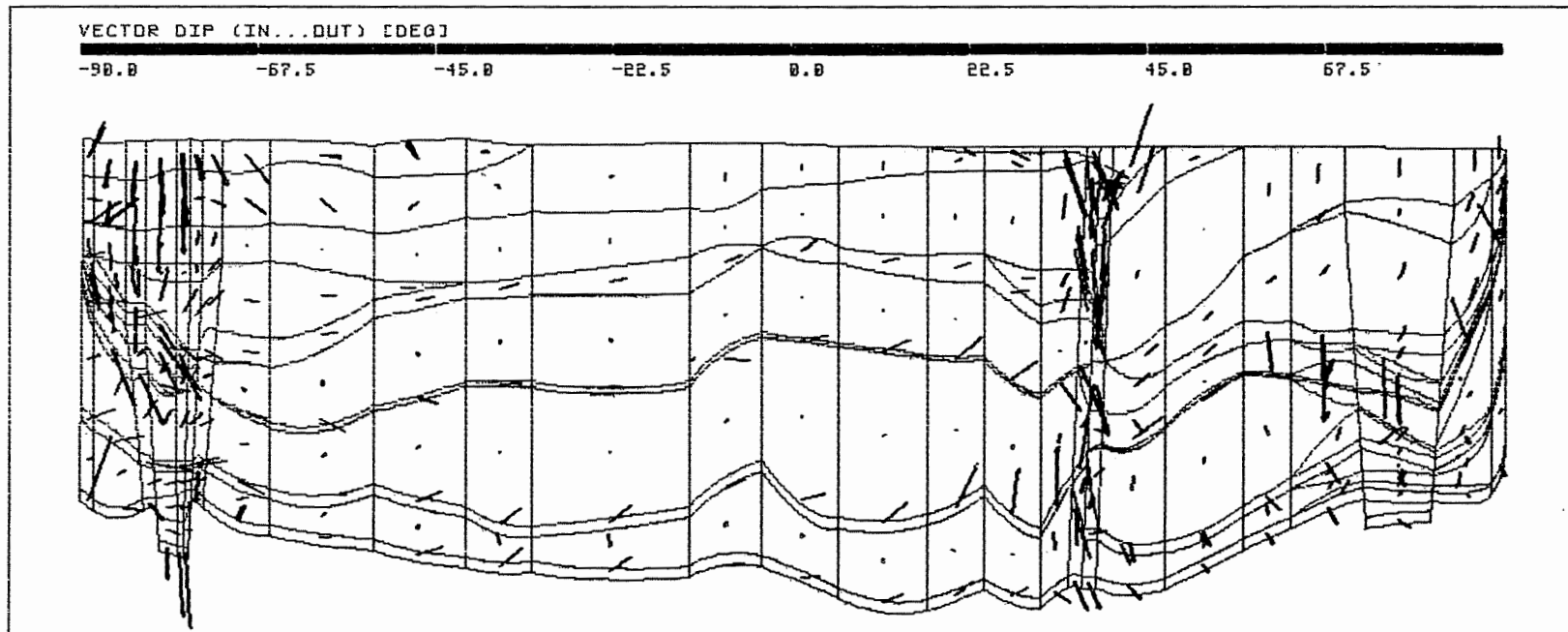
Anh. C11.5.3 Rechenfall R11: Weg-Zeit-Diagramm der Fließwege  
(Zeit im logarithmischen Massstab)

R11: MITTLERER DURCHFLUSS DURCH SCHNITT1 (2-FACH UEBERHOEHT) 236/0



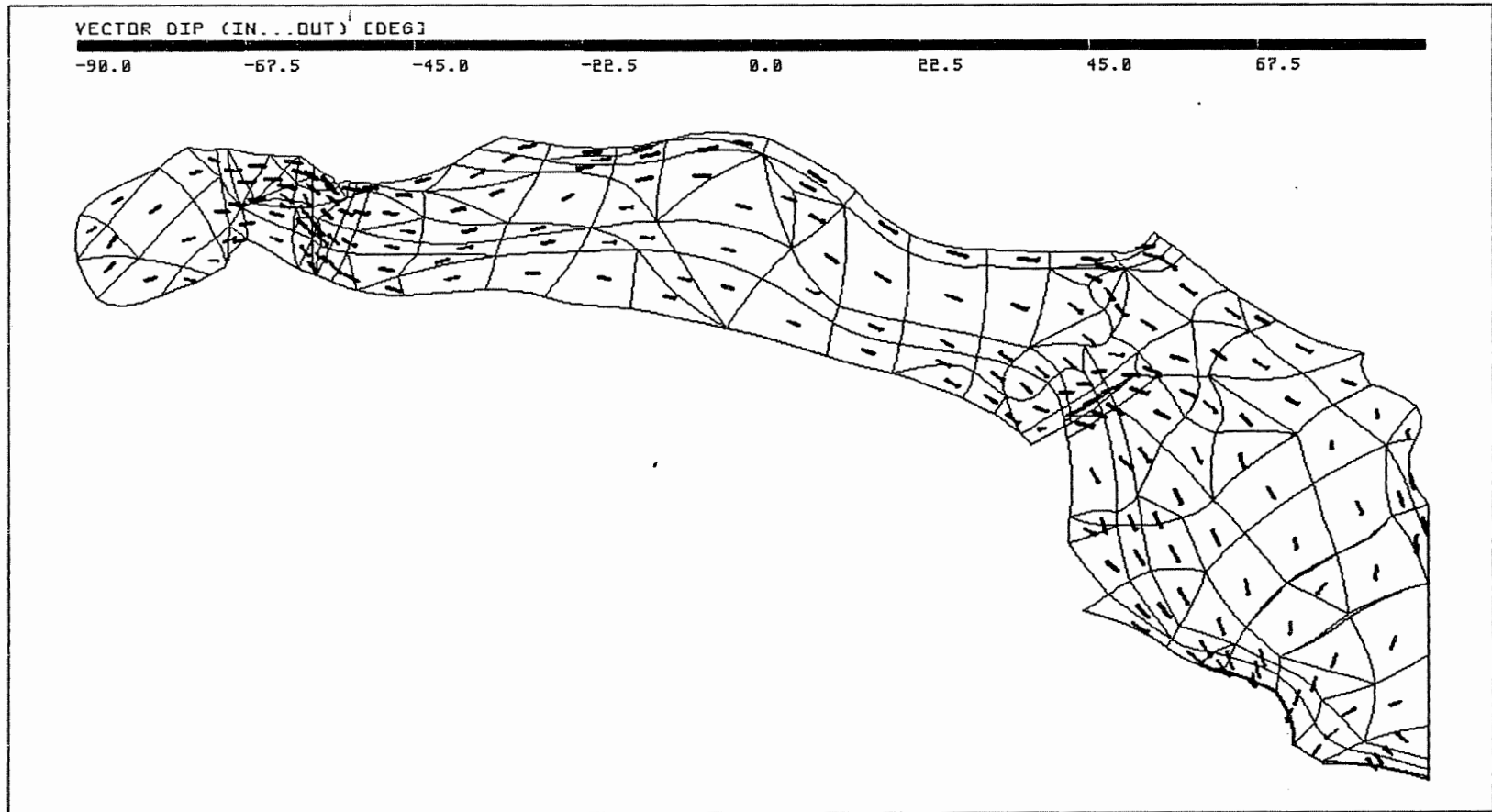
Anh. C11.6.1 Rechenfall R11: Flüsse durch die Wasserleiter des Schnittes 1

R11: DARCY-FLUSS PTB.XYZ(Z\*5.0) SCHNITT\_8\_9\_10.EL R11\_MO.FLX 111



Anh. C11.7.1 Rechenfall R11: Vektoren der Filtergeschwindigkeit im Schnitt 8-9-10

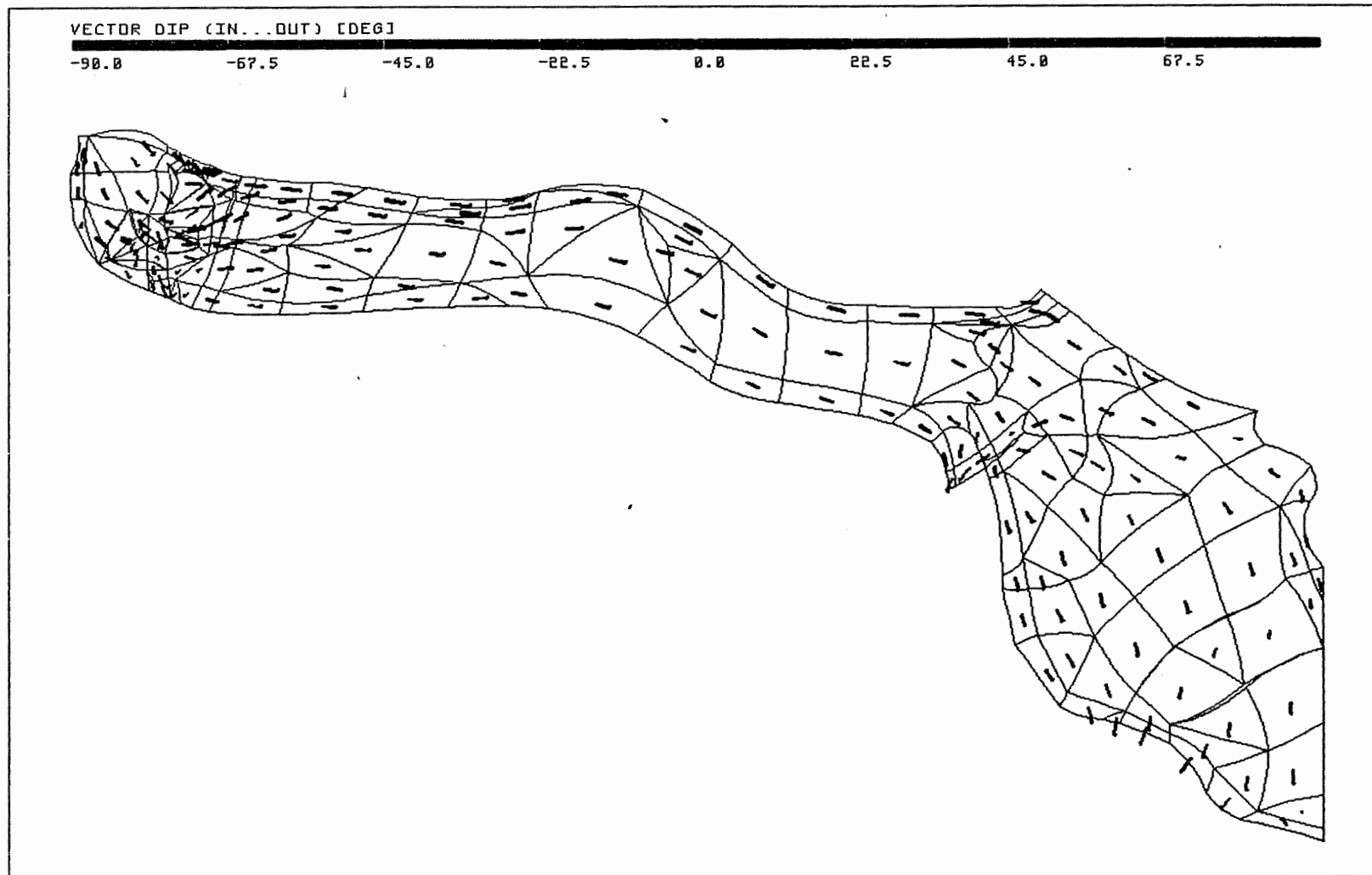
PTB.XYZ C\_TOP.EL R11\_CO.FLX 90/90



Anh. C11.7.2 Rechenfall R11: Vektoren der Filtergeschwindigkeit in der Oberfläche des Cornbrash-Sandsteins

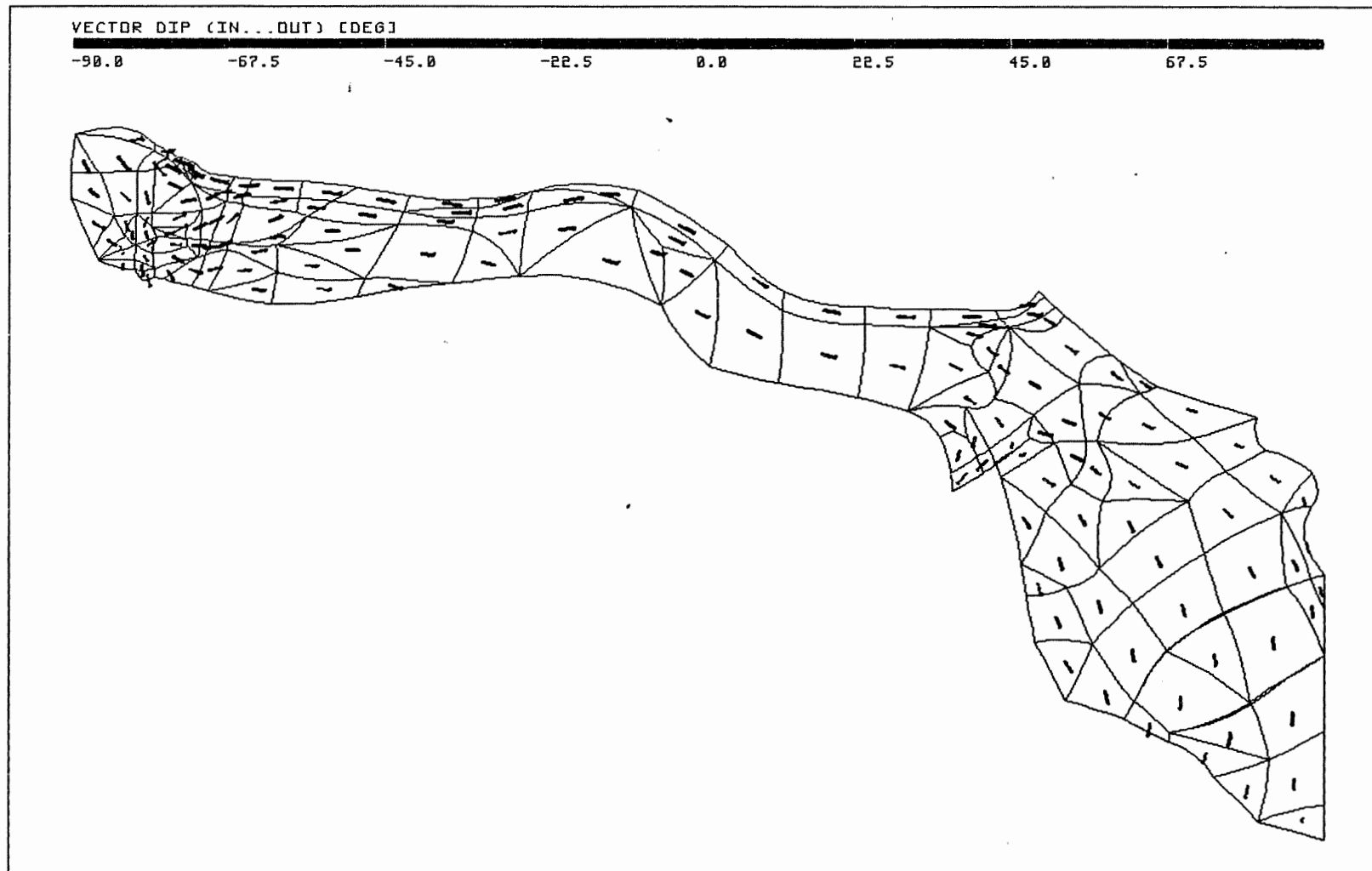


PTB.XYZ OX\_TOP.EL R11\_OX.FLX 90/90



Anh. C11.7.3 Rechenfall R11: Vektoren der Filtergeschwindigkeit in der Oberfläche des Oxford

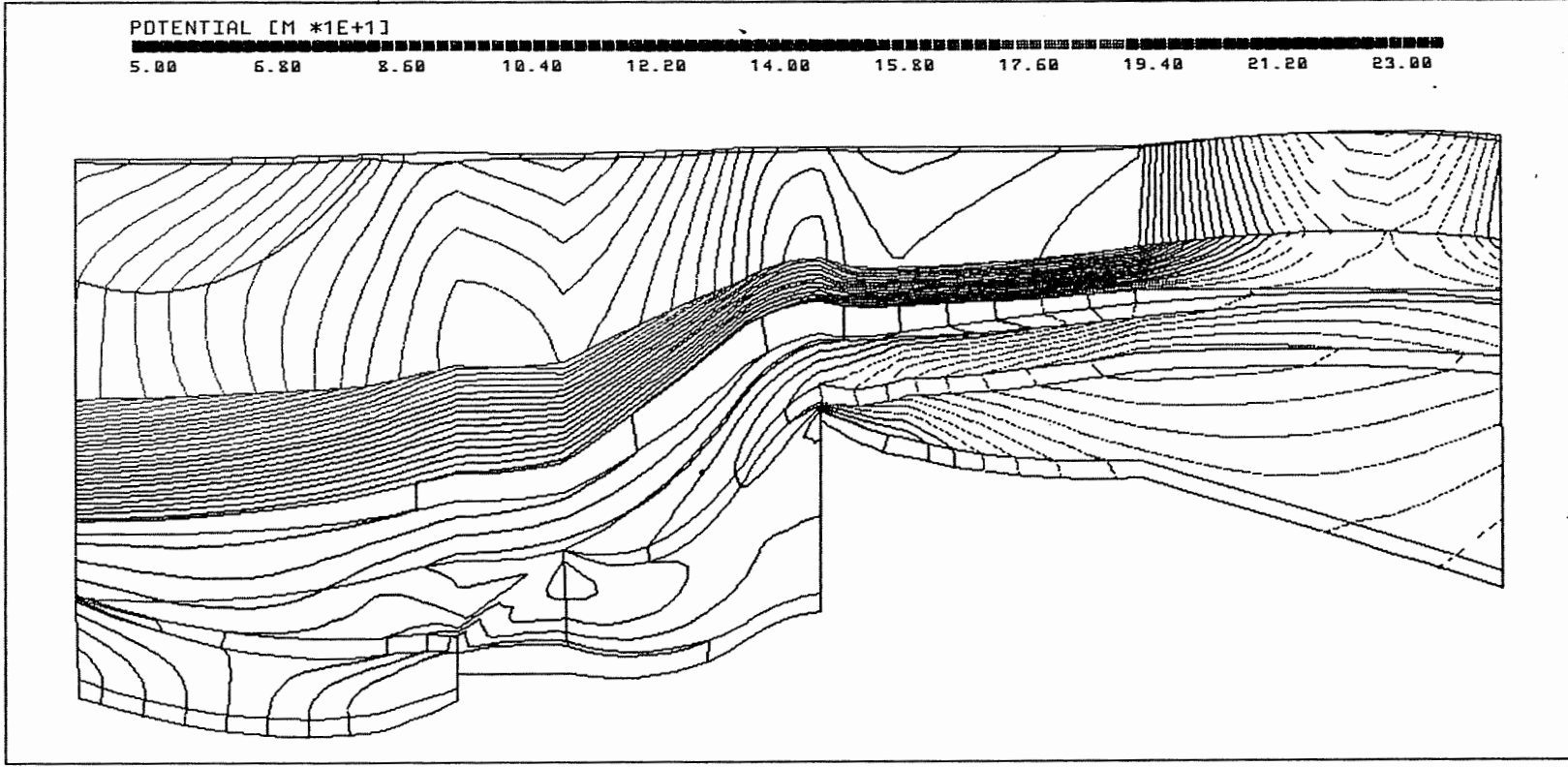
PTB.XYZ JO\_TOP.EL R11\_JO.FLX 90/90



Anh. C11.7.4 Rechenfall R11: Vektoren der Filtergeschwindigkeit in der Oberfläche des Kimmeridge

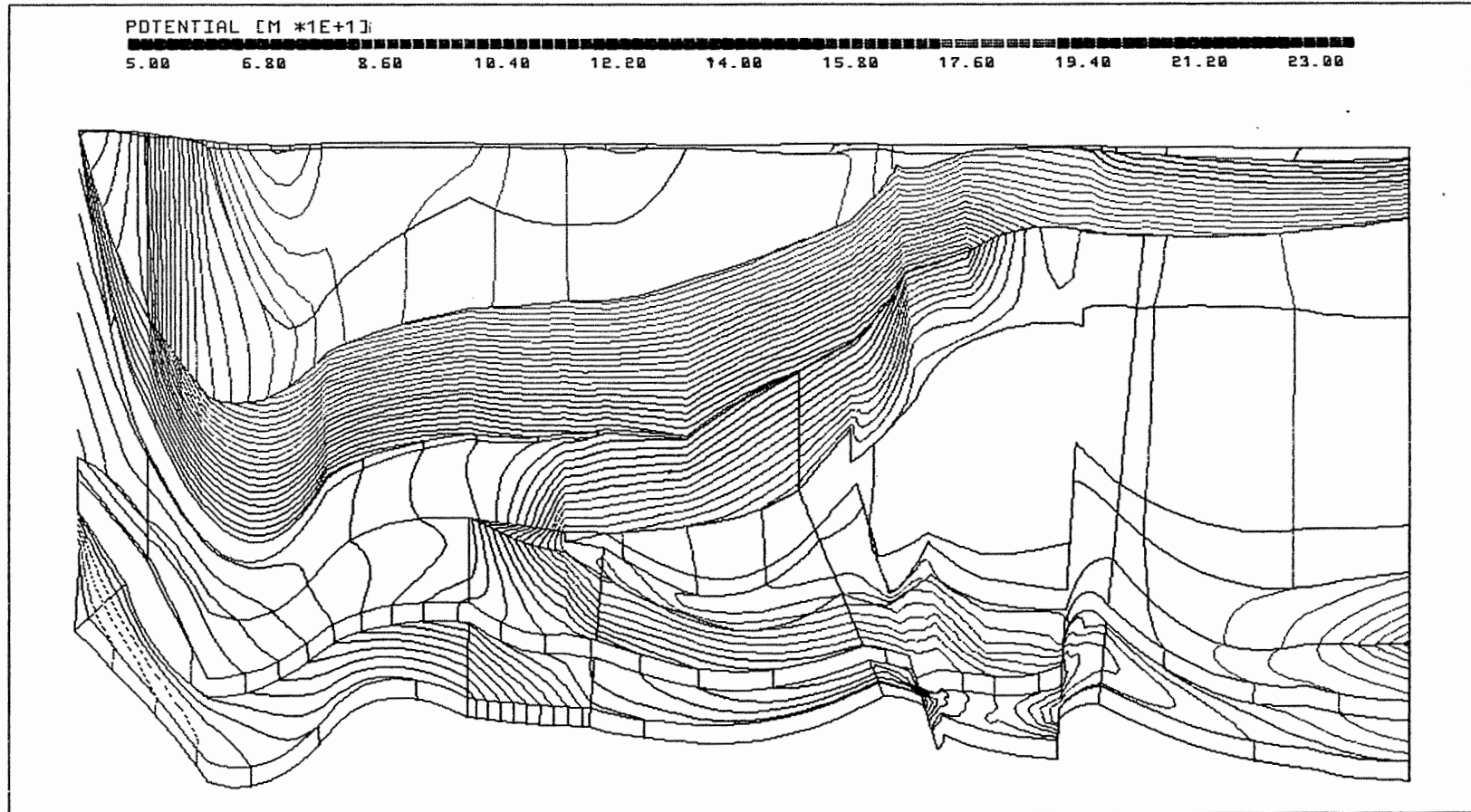
12	<b>Rechenfall R12</b>
12.1	<u>Potentiale, Schnitte</u>
12.1.1	Schnitt 1
12.1.2	Schnitt 3
12.1.3	Schnitt 4
12.1.4	Schnitt 5
12.1.5	Schnitt 8-9
12.1.6	Schnitt 12
12.1.7	Schnitt 13
12.2	<u>Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten</u>
12.2.1	Basis Oberer Muschelkalk
12.2.2	Basis Rhät
12.2.3	Basis Cornbrash-Sandstein
12.2.4	Basis Oxford
12.2.5	Basis Unterkreide
12.2.6	Basis Hilssandstein
12.3	<u>Potentialunterschiede R12-R01, Schnitte</u>
12.3.1	Schnitt 1
12.3.2	Schnitt 3
12.3.3	Schnitt 4
12.3.4	Schnitt 5
12.3.5	Schnitt 8-9
12.3.6	Schnitt 12
12.3.7	Schnitt 13
12.4	<u>Potentialunterschiede R12-R01, Basisflächen von Schichteinheiten</u>
12.4.1	Basis Oberer Muschelkalk
12.4.2	Basis Rhät
12.4.3	Basis Cornbrash-Sandstein
12.4.4	Basis Oxford
12.4.5	Basis Unterkreide
12.4.6	Basis Hilssandstein
12.5	<u>Fliesswege</u>
12.5.1	Grundriss
12.5.2	Aufriss
12.5.3	Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)
12.6	<u>Flüsse durch die Wasserleiter von Schnitten</u>
12.6.1	Schnitt 1

PTB.XYZ(Z\*2.0) CUT1.EL PTB\_R12.RES 236/0



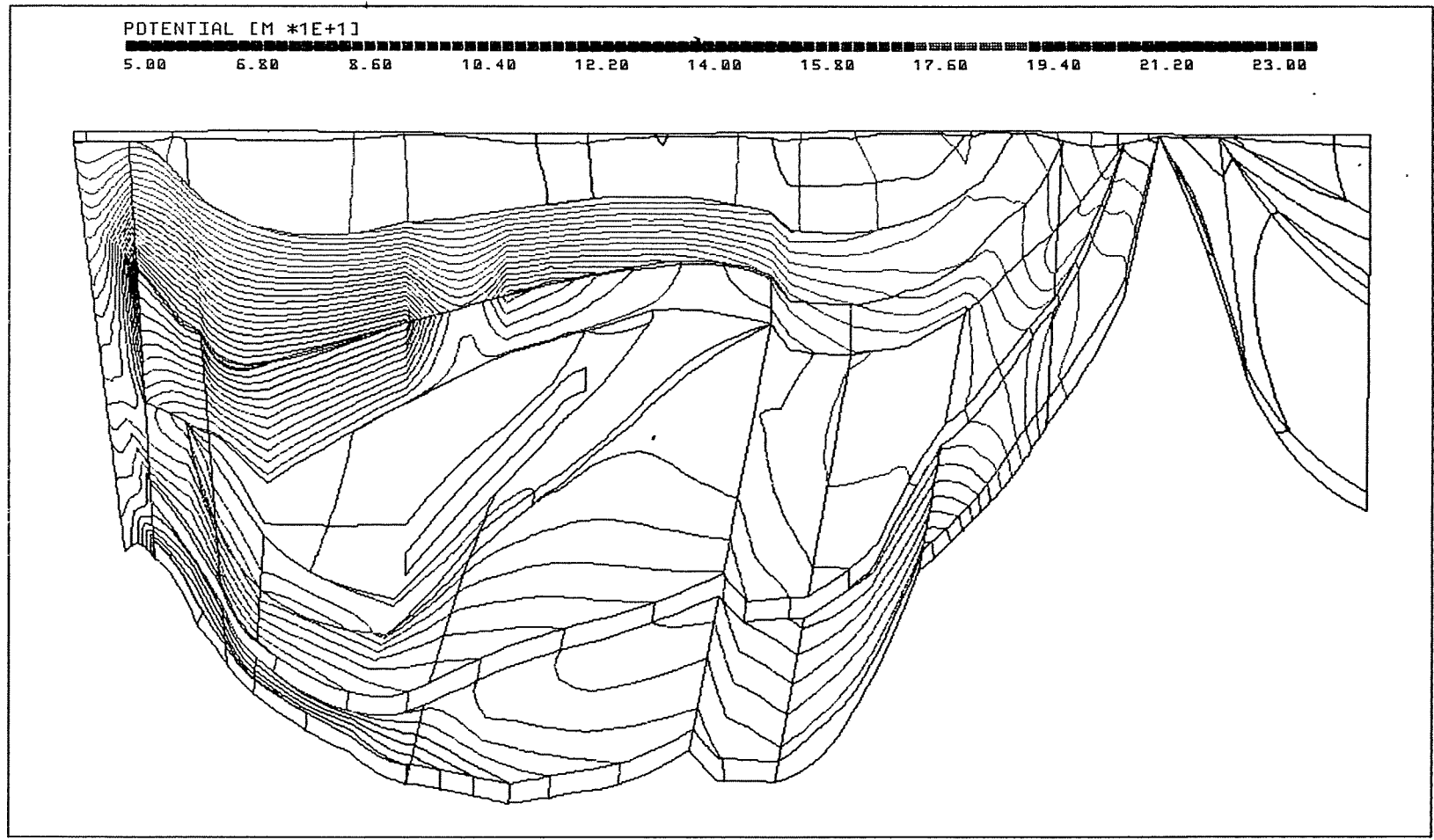
Anh. C12.1.1 Rechenfall R12: Potentiale im Schnitt 1

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT3.EL PTB\_R12.RES 108/0



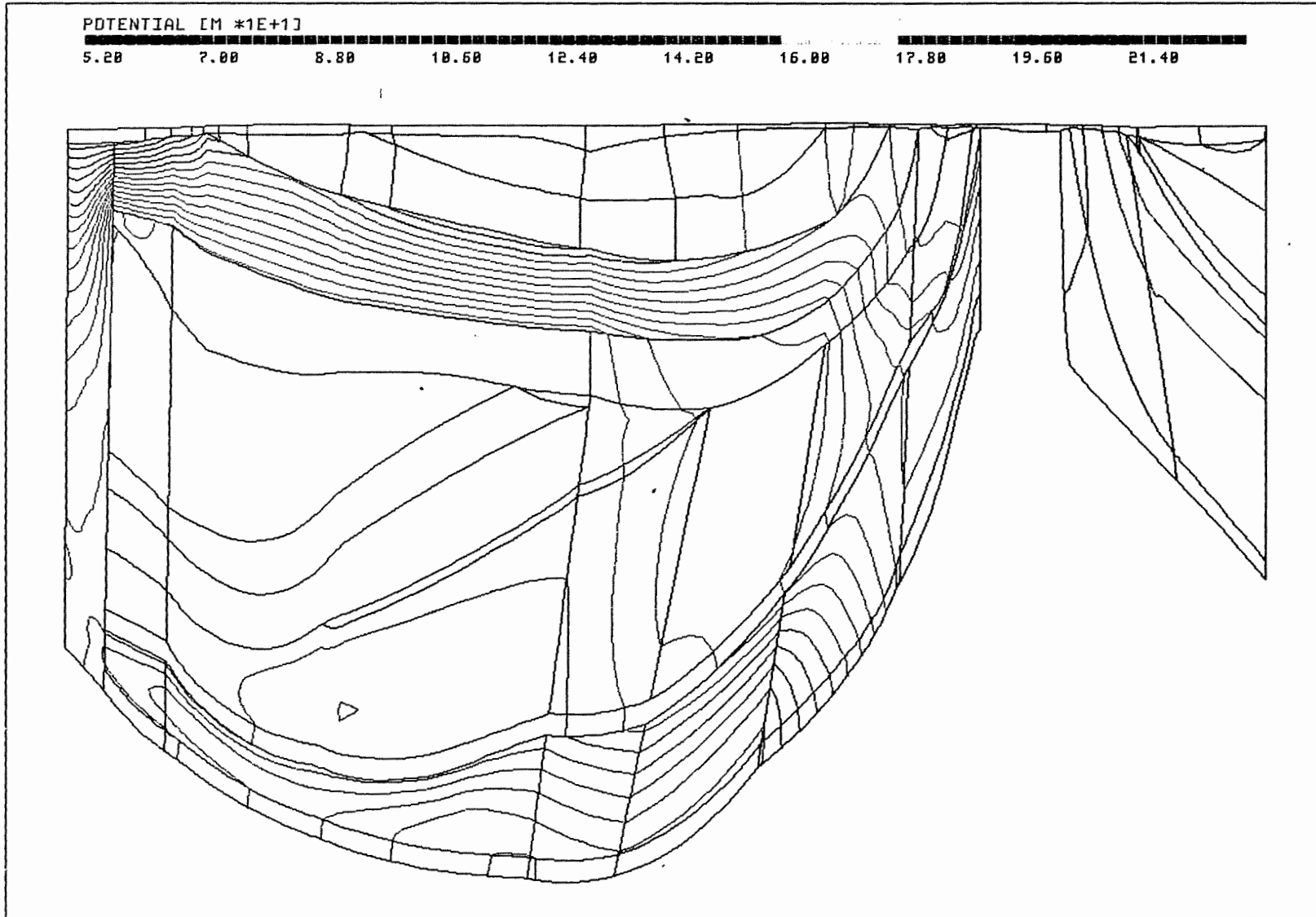
Anh. C12.1.2 Rechenfall R12: Potentiale im Schnitt 3

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL PTB\_R12.RES 177/0



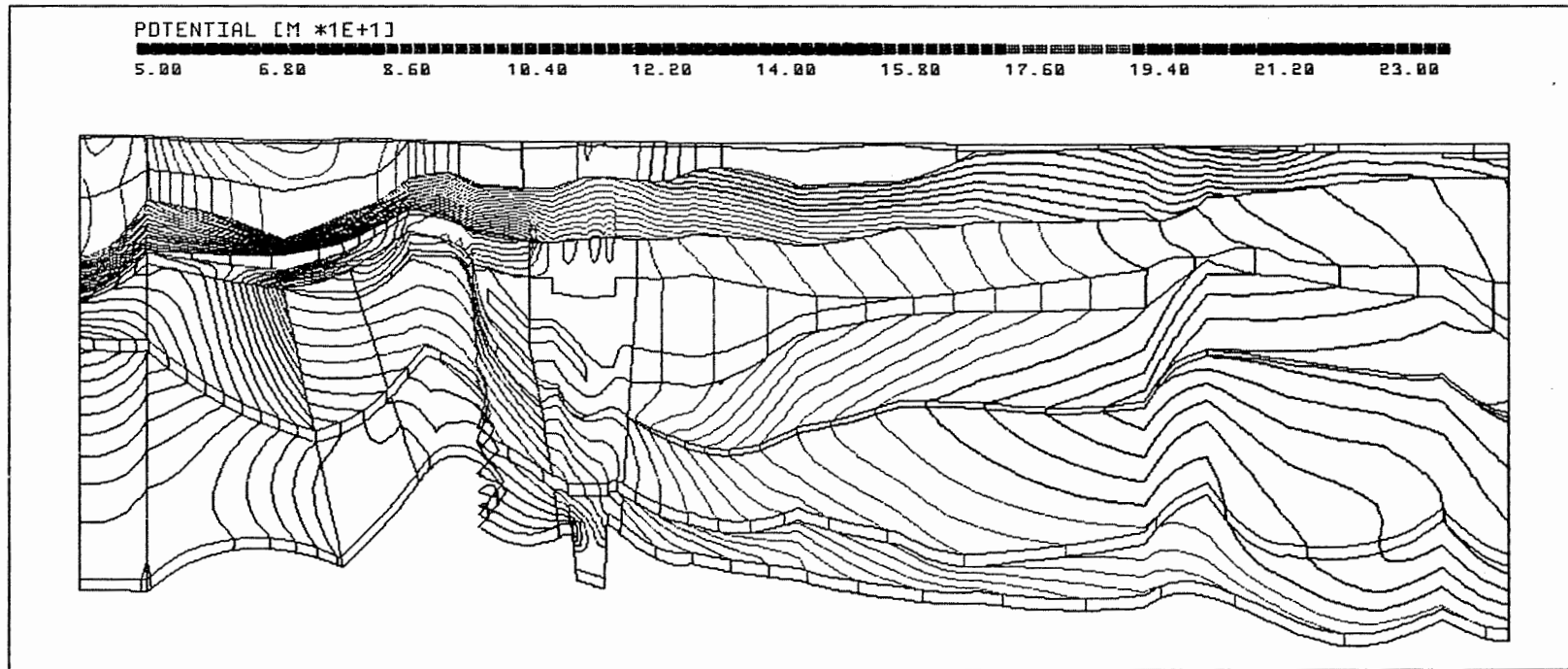
Anh. C12.1.3 Rechenfall R12: Potentiale im Schnitt 4

PTB.XYZ(Z\*3.0) SCHNITT5.EL PTB\_R12.RES 186/0



Anh. C12.1.4 Rechenfall R12: Potentiale im Schnitt 5

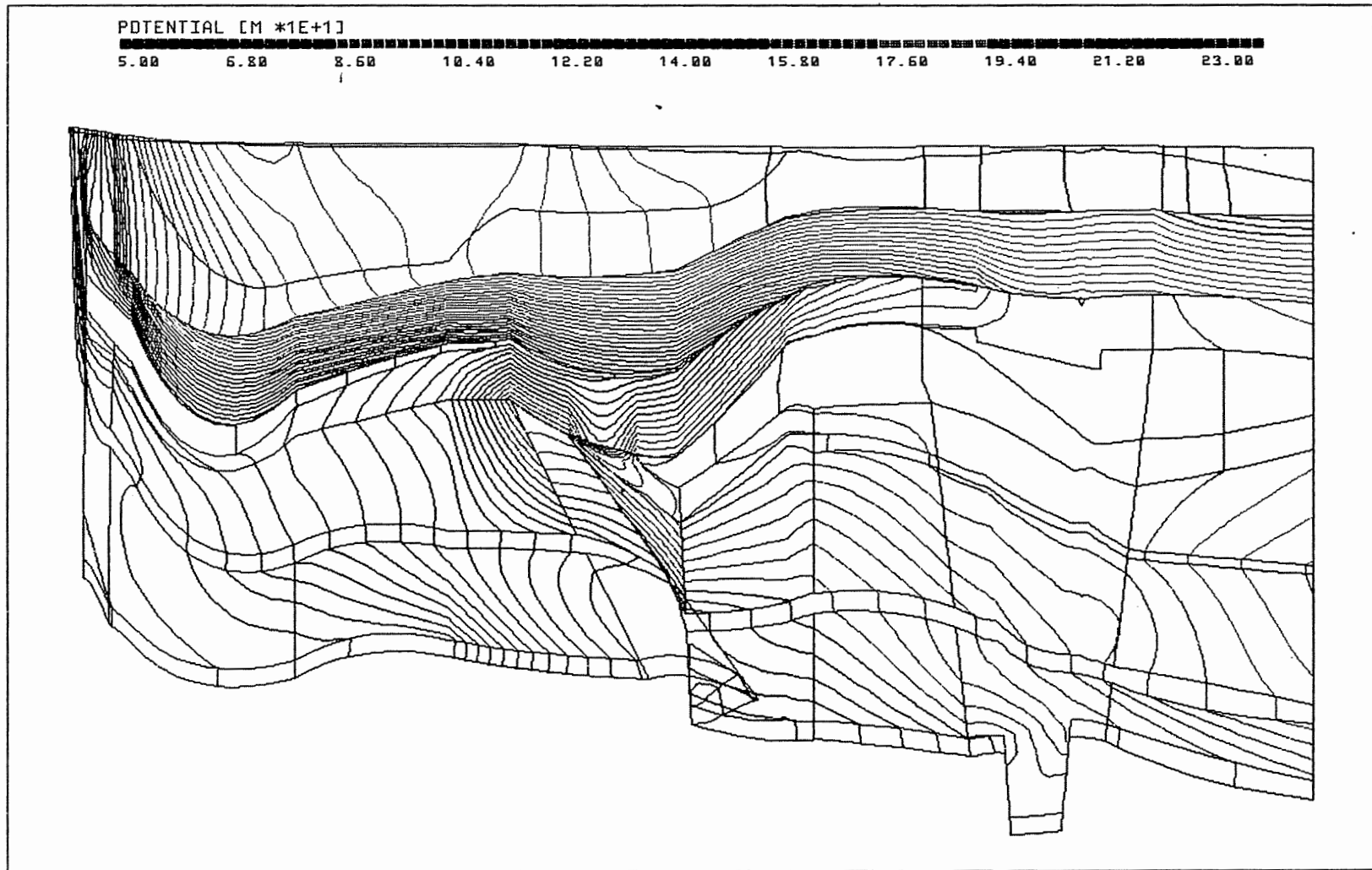
PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL PTB\_R12.RES 96/0



Anh. C12.1.5 Rechenfall R12: Potentiale im Schnitt 8-9

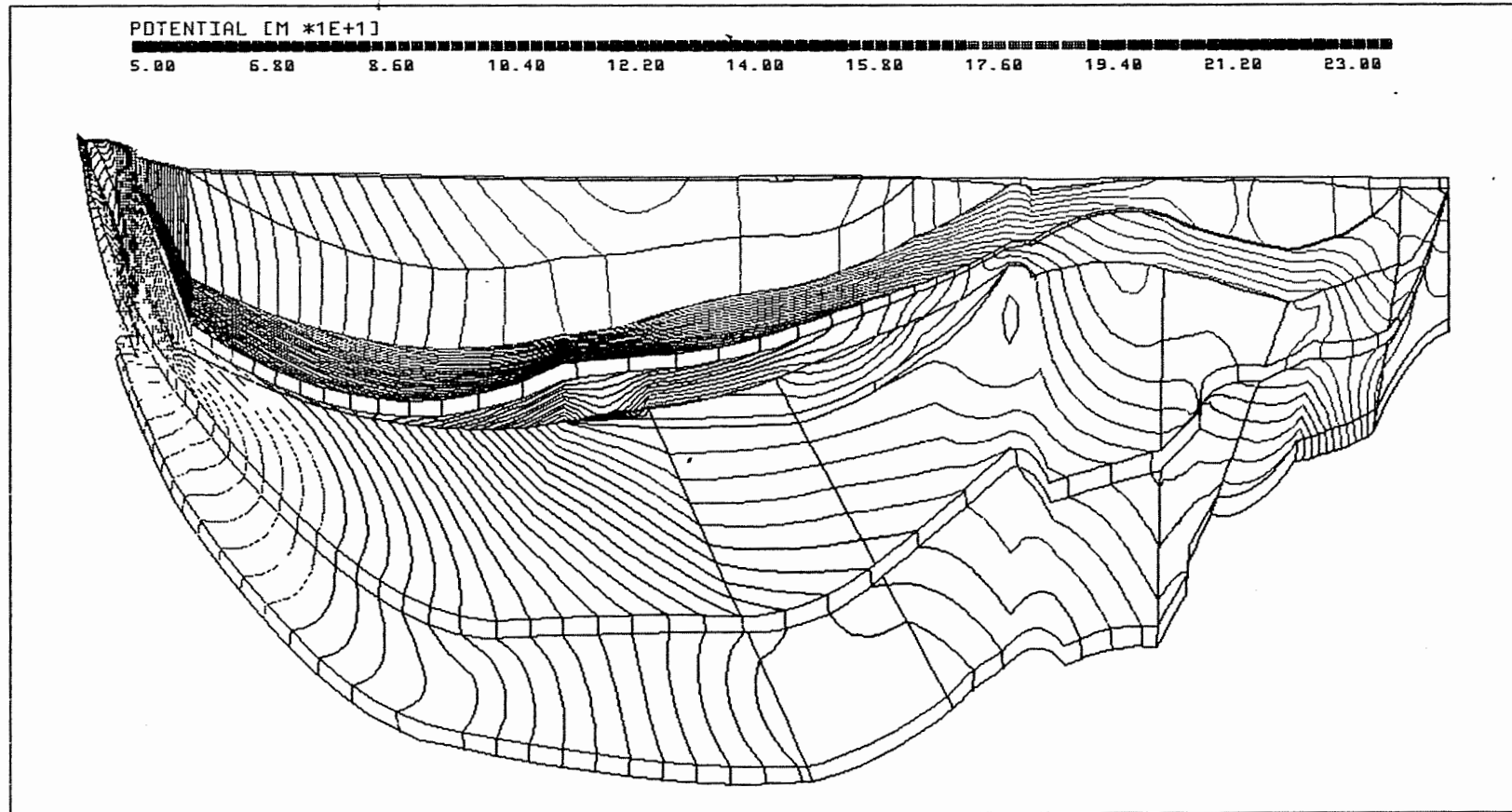


PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT12.EL PTB\_R12.RES 111/0



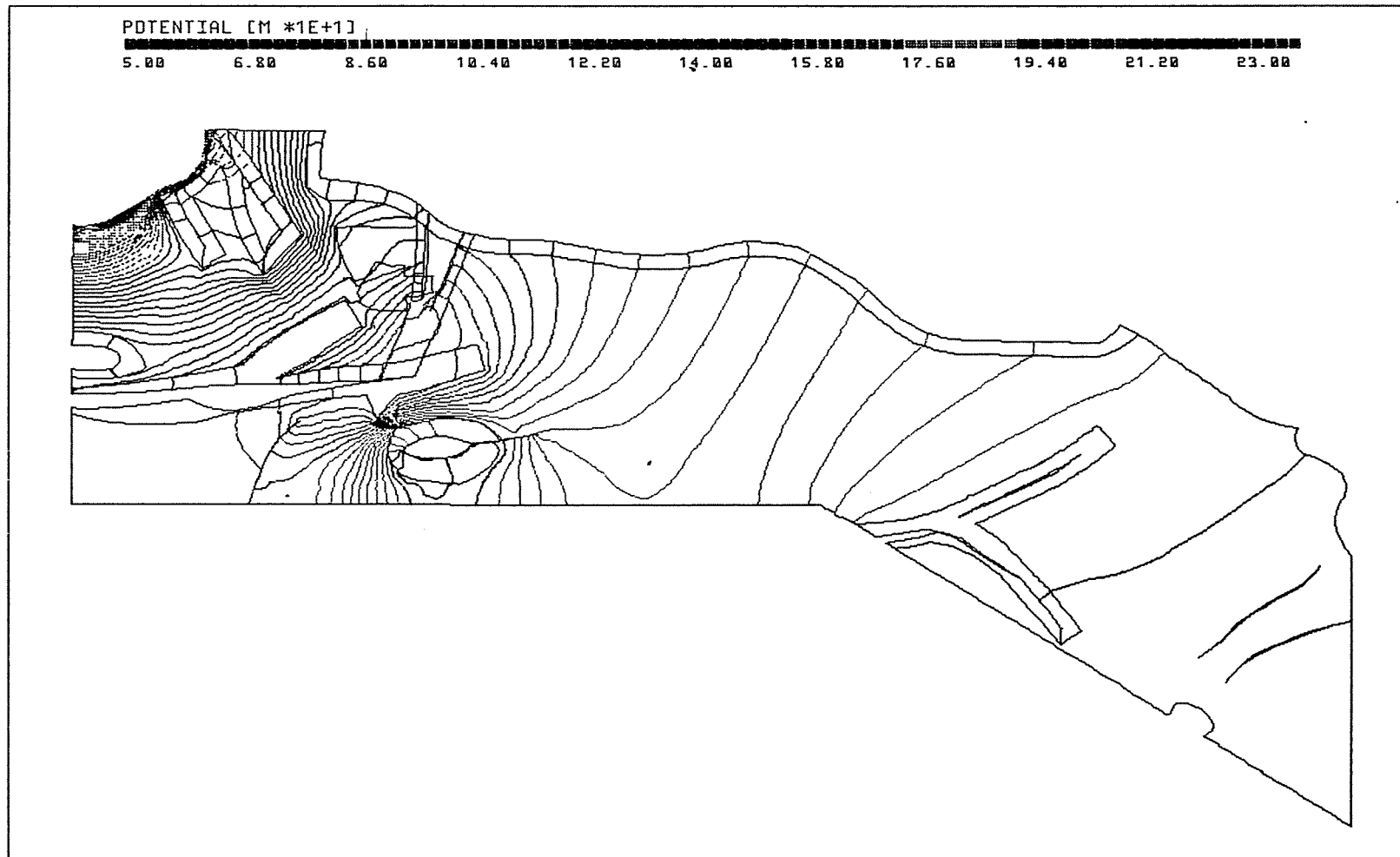
Anh. C12.1.6 Rechenfall R12: Potentiale im Schnitt 12

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT13.EL PTB\_R12.RES 125/0



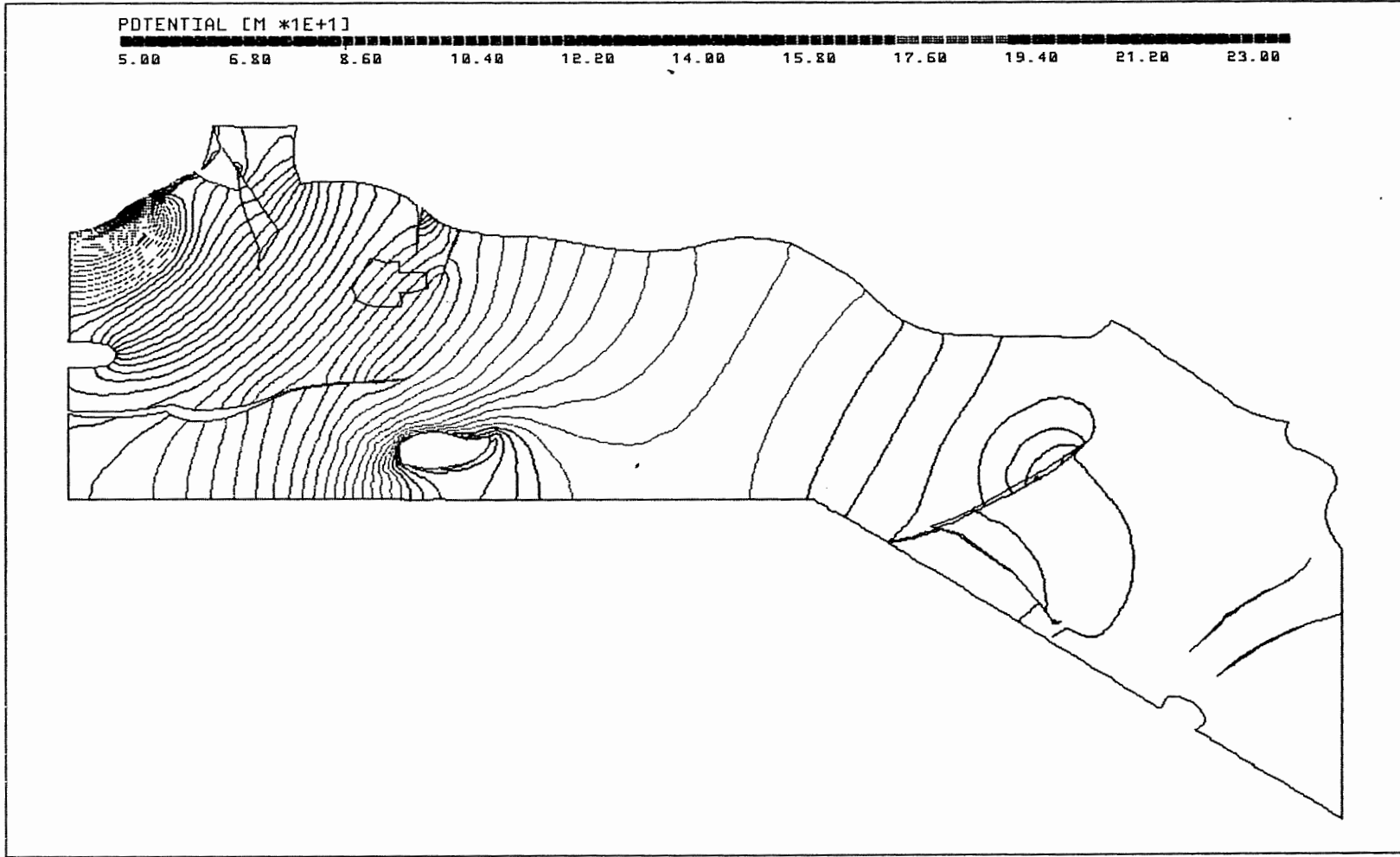
Anh. C12.1.7 Rechenfall R12: Potentiale im Schnitt 13

PTB.XYZ(Z\*3.0) MO\_BOT.EL PTB\_R12.RES 90/90



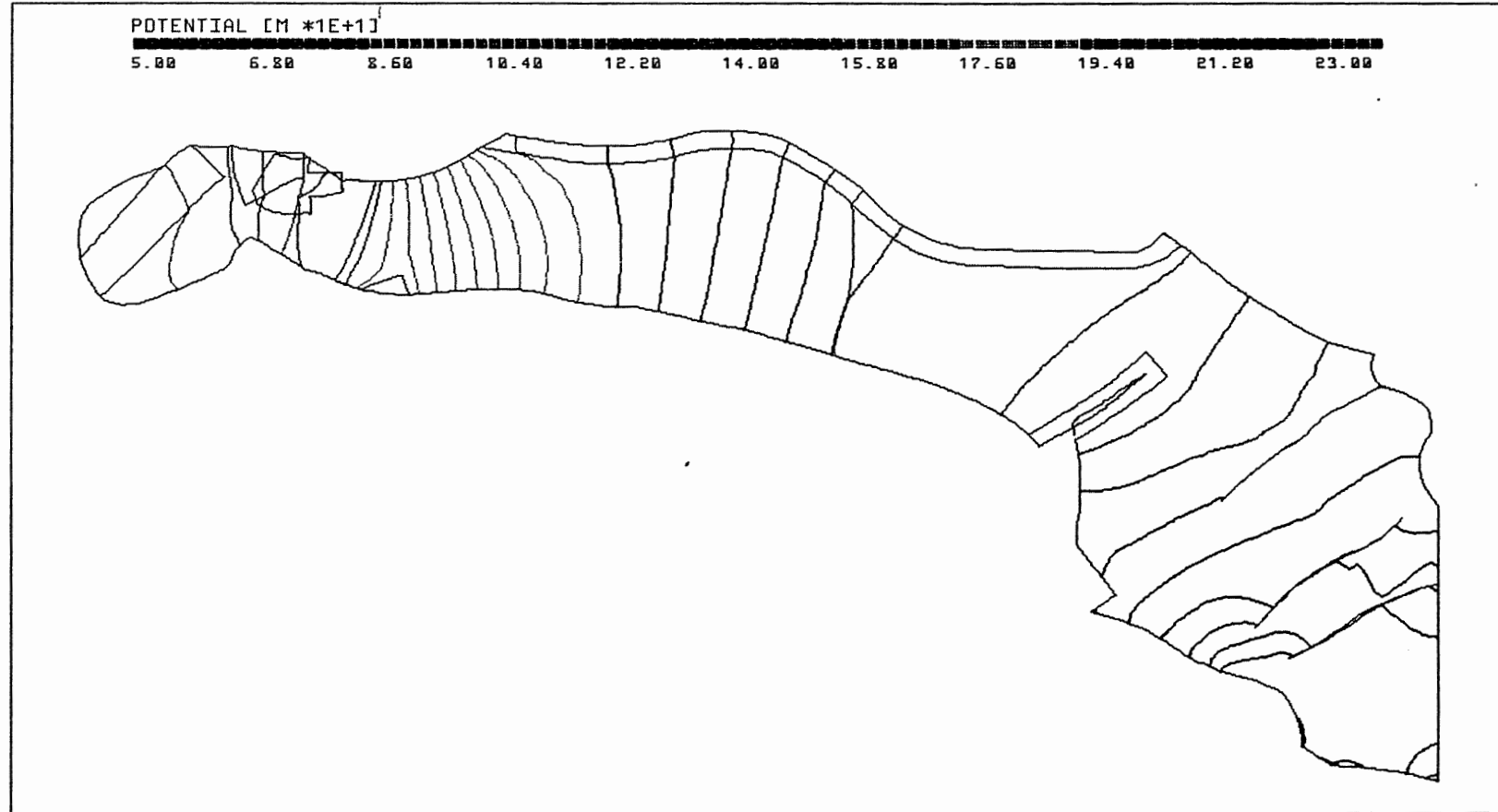
Anh. C12.2.1 Rechenfall R12: Potentiale an der Basis des Oberen Muschelkalks

PTB.XYZ(Z\*3.0) KO\_BOT.EL PTB\_R12.RES 90/90



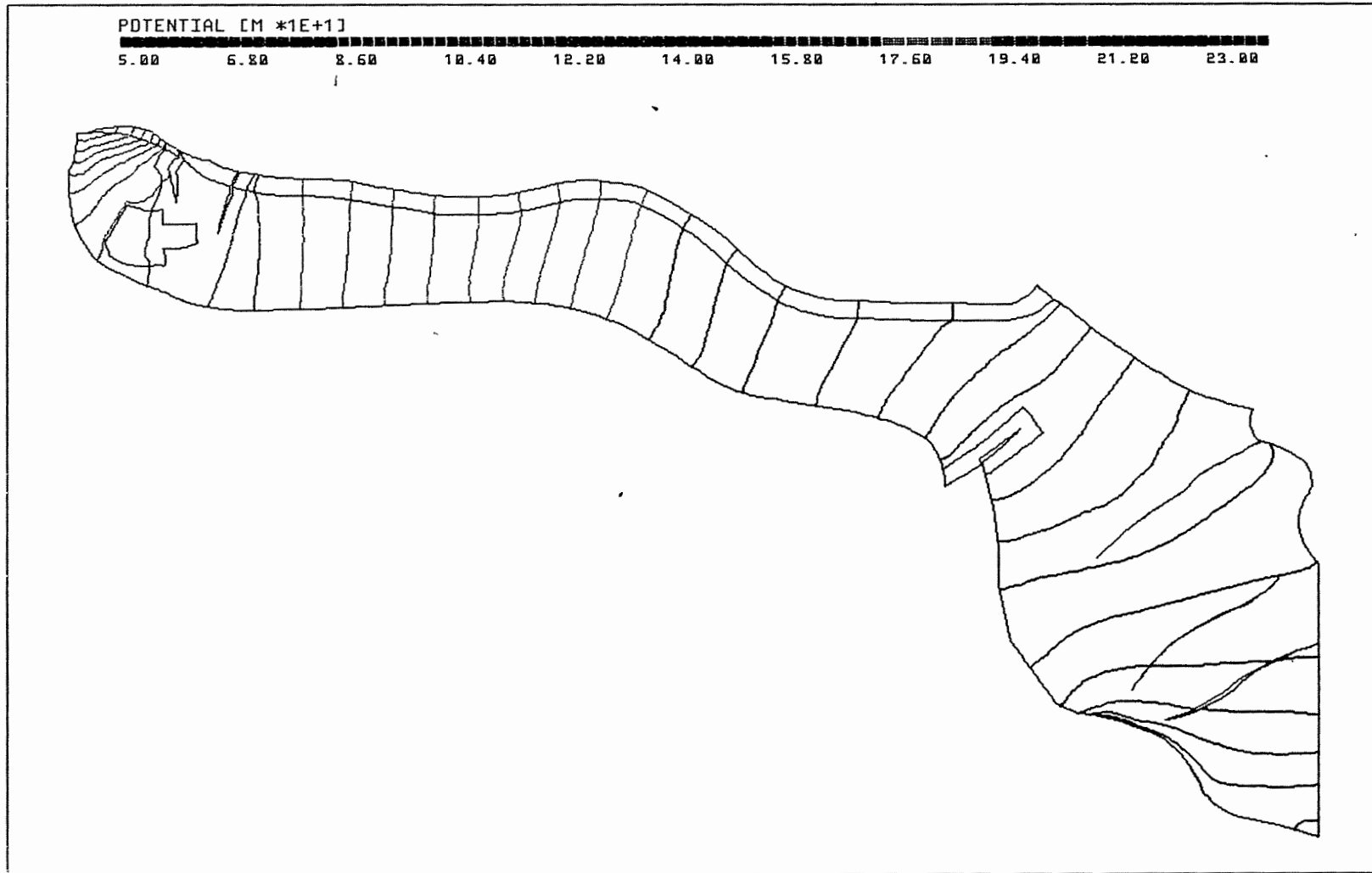
Anh. C12.2.2 Rechenfall R12: Potentiale an der Basis Rhät

PTB.XYZ(Z\*3.0) C\_BOT.EL PTB\_R12.RES 90/90



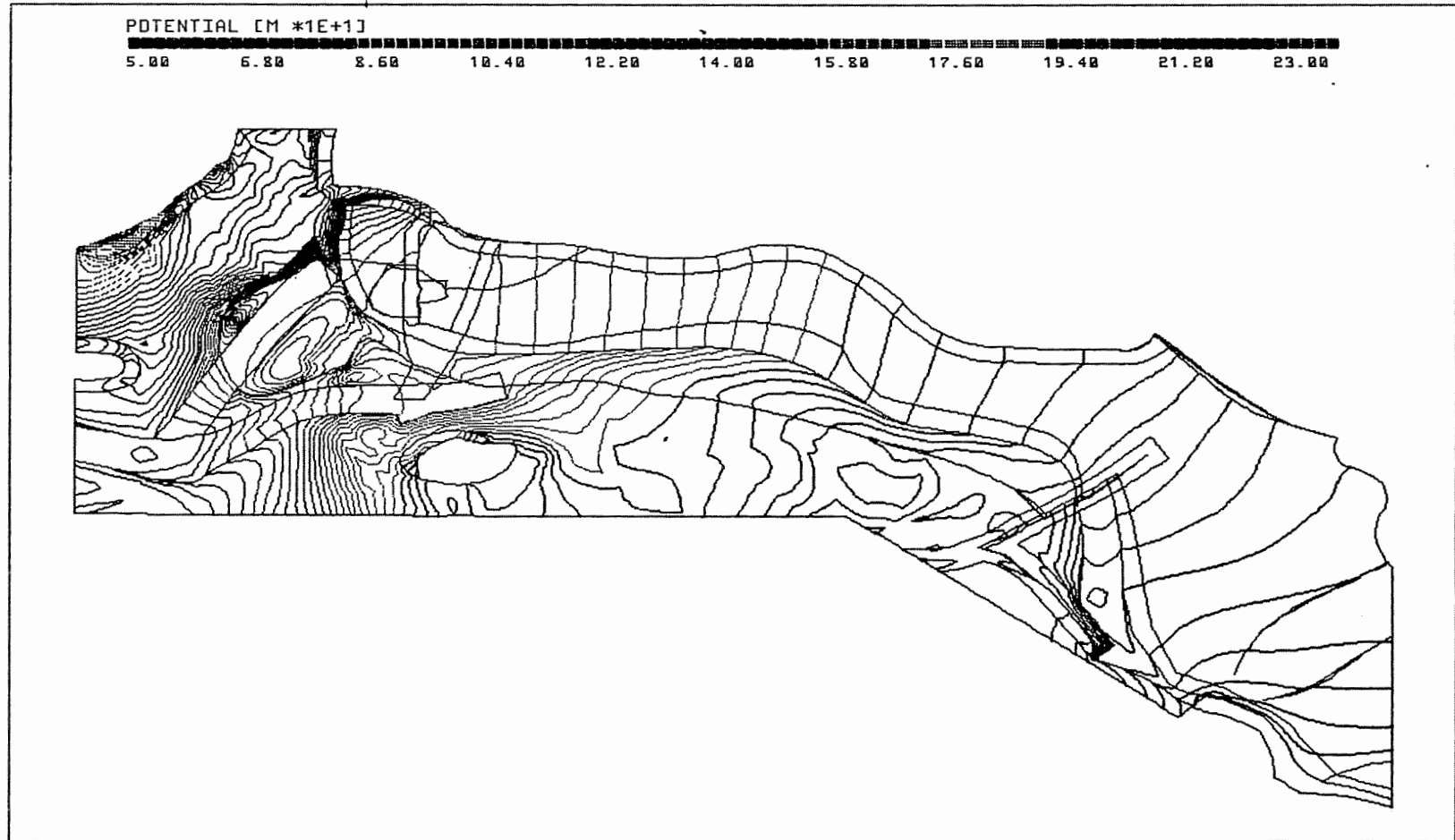
Anh. C12.2.3 Rechenfall R12: Potentiale an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ(Z\*3.0) OX\_BOT.EL PTB\_R12.RES 90/90

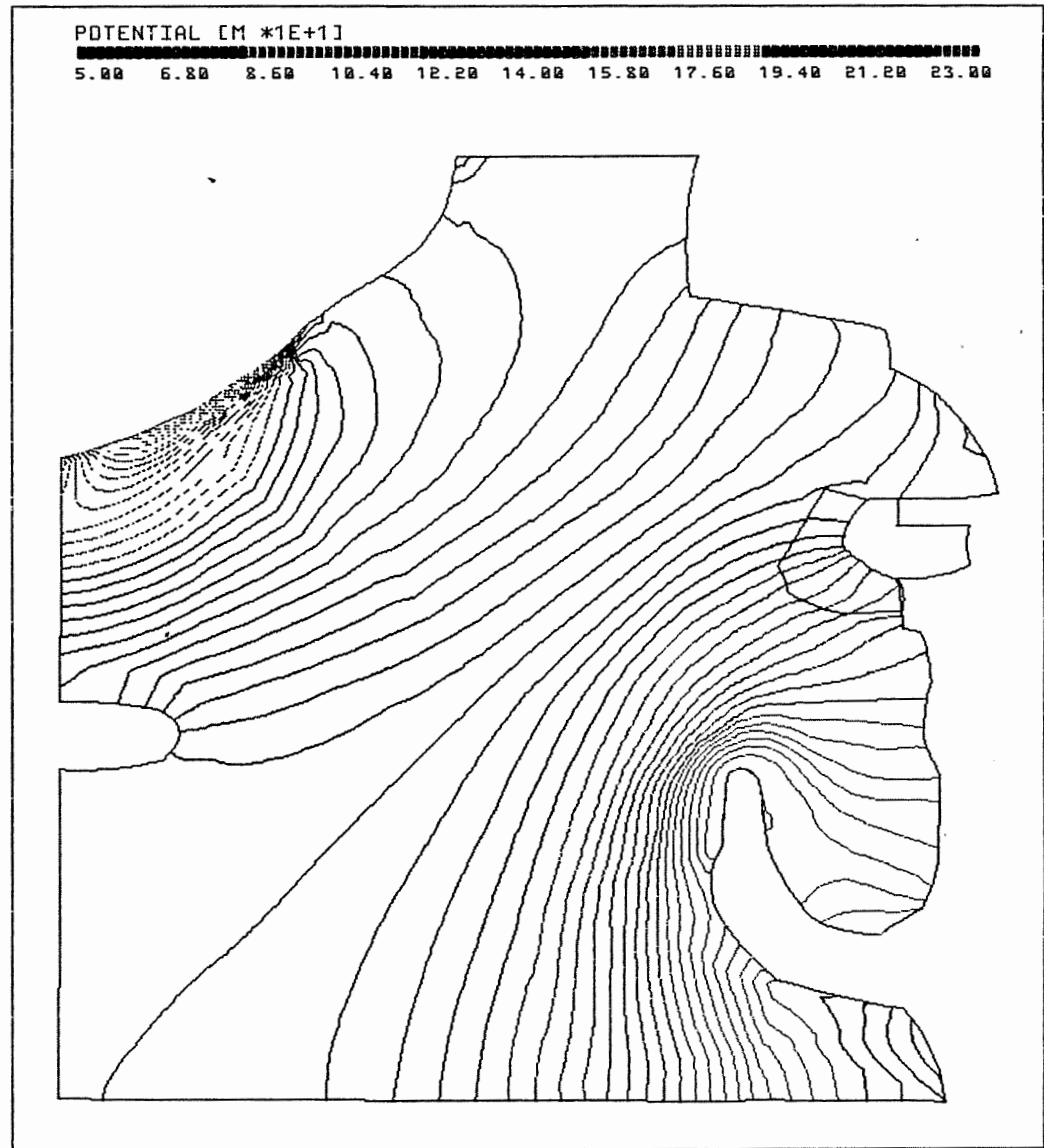


Anh. C12.2.4 Rechenfall R12: Potentiale an der Basis des Oxford

PTB.XYZ(Z\*3.0) KRU\_BOT.EL PTB\_R12.RES 90/90



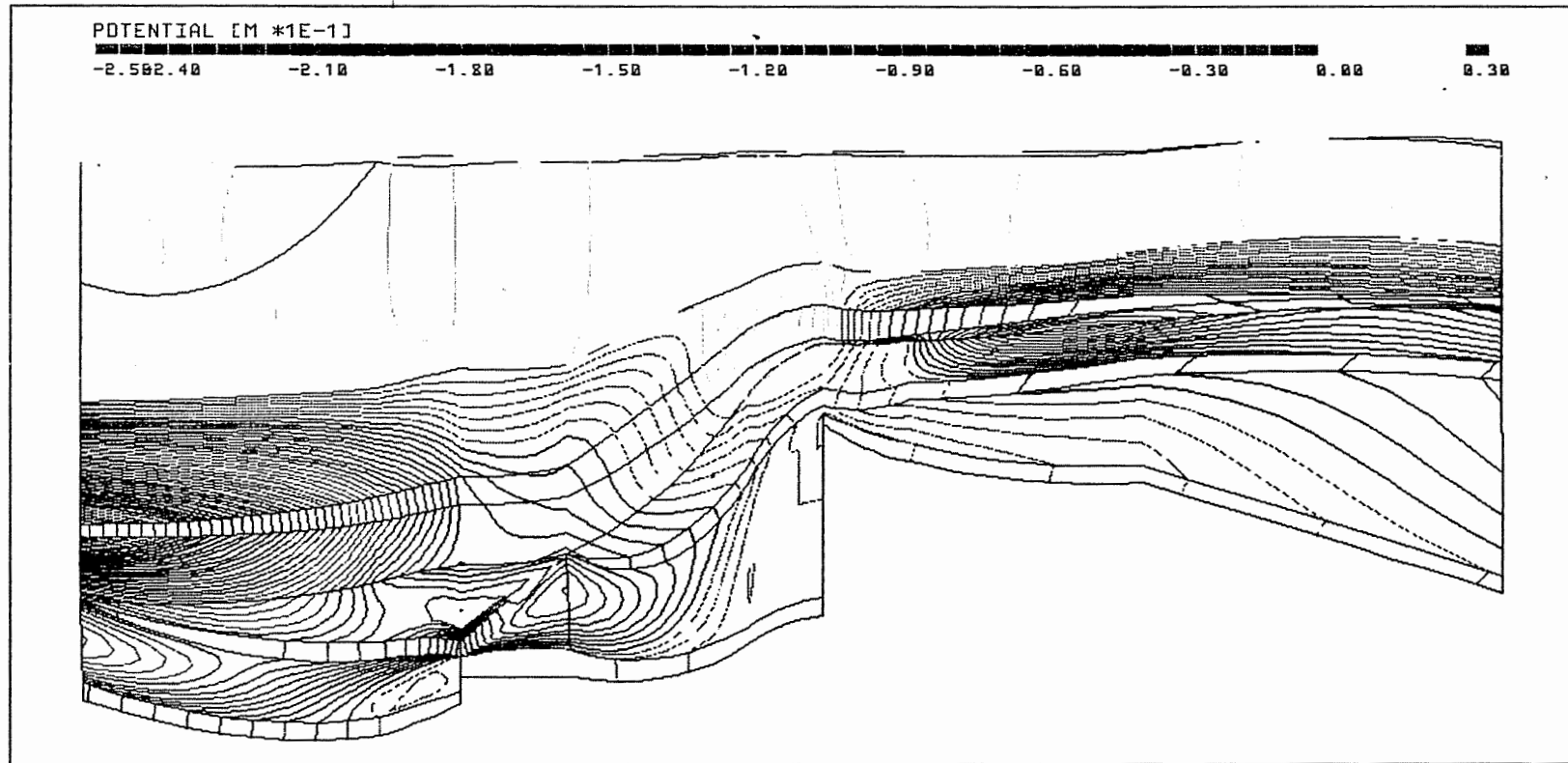
Anh. C12.2.5 Rechenfall R12: Potentiale an der Basis der Unterkreide



Anh. C12.2.6 Rechenfall R12: Potentiale an der Basis des Hilssandsteins

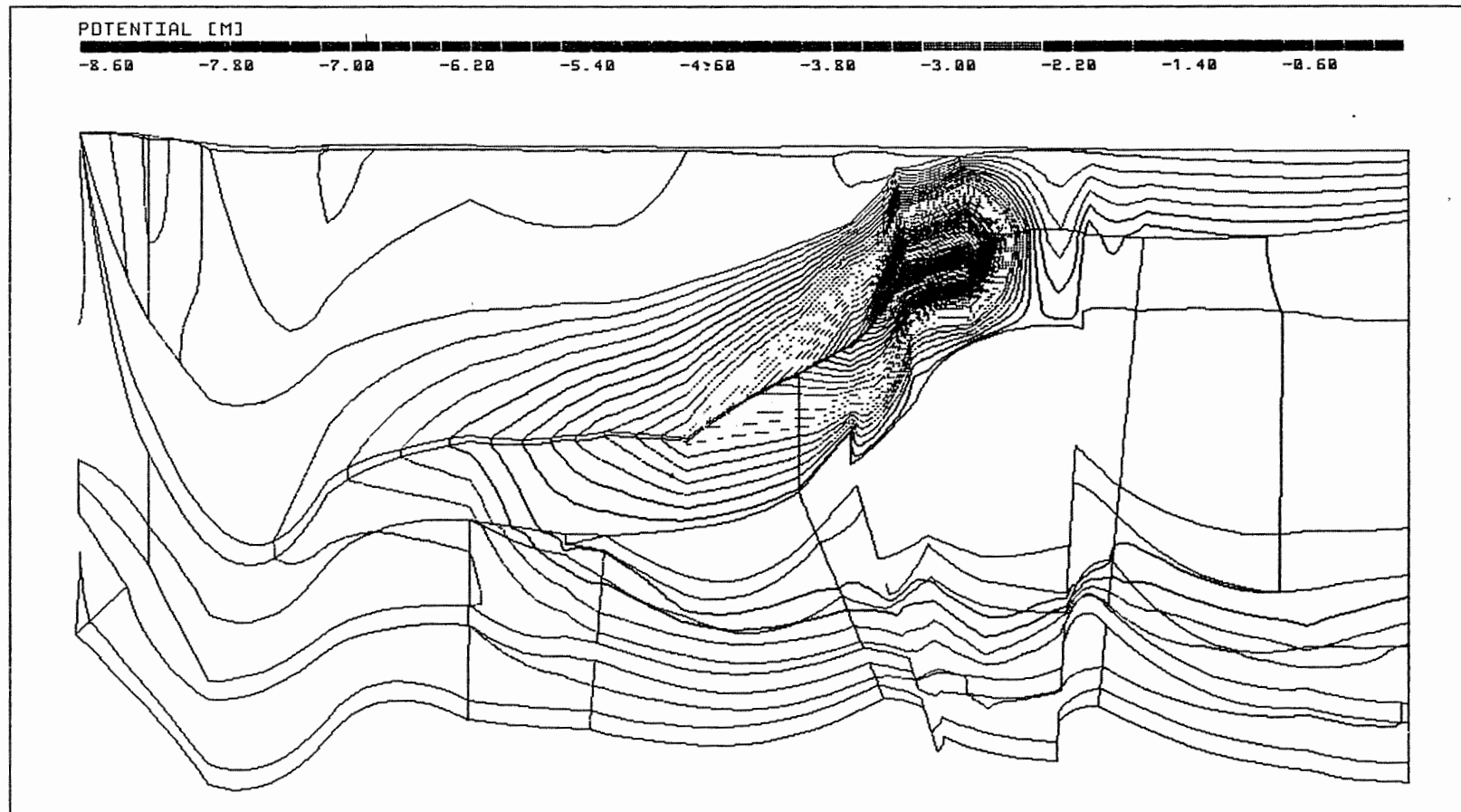


PTB.XYZ(Z\*2.0) CUT1.EL R12-R01.DIF 236/0



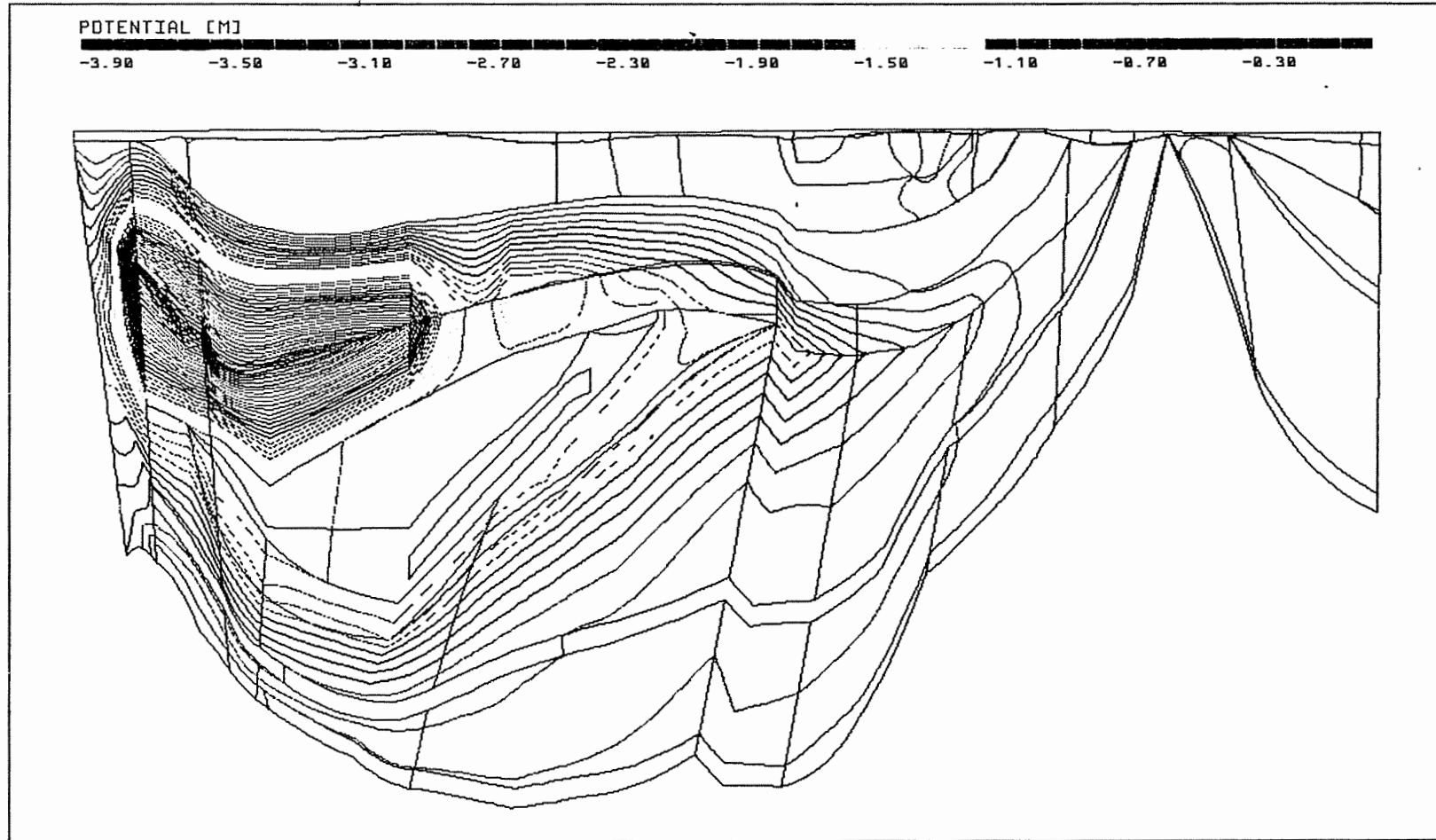
ANH. C12.3.1    Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01,  
Schnitt 1

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT3.EL R12-R01.DIF 108/0



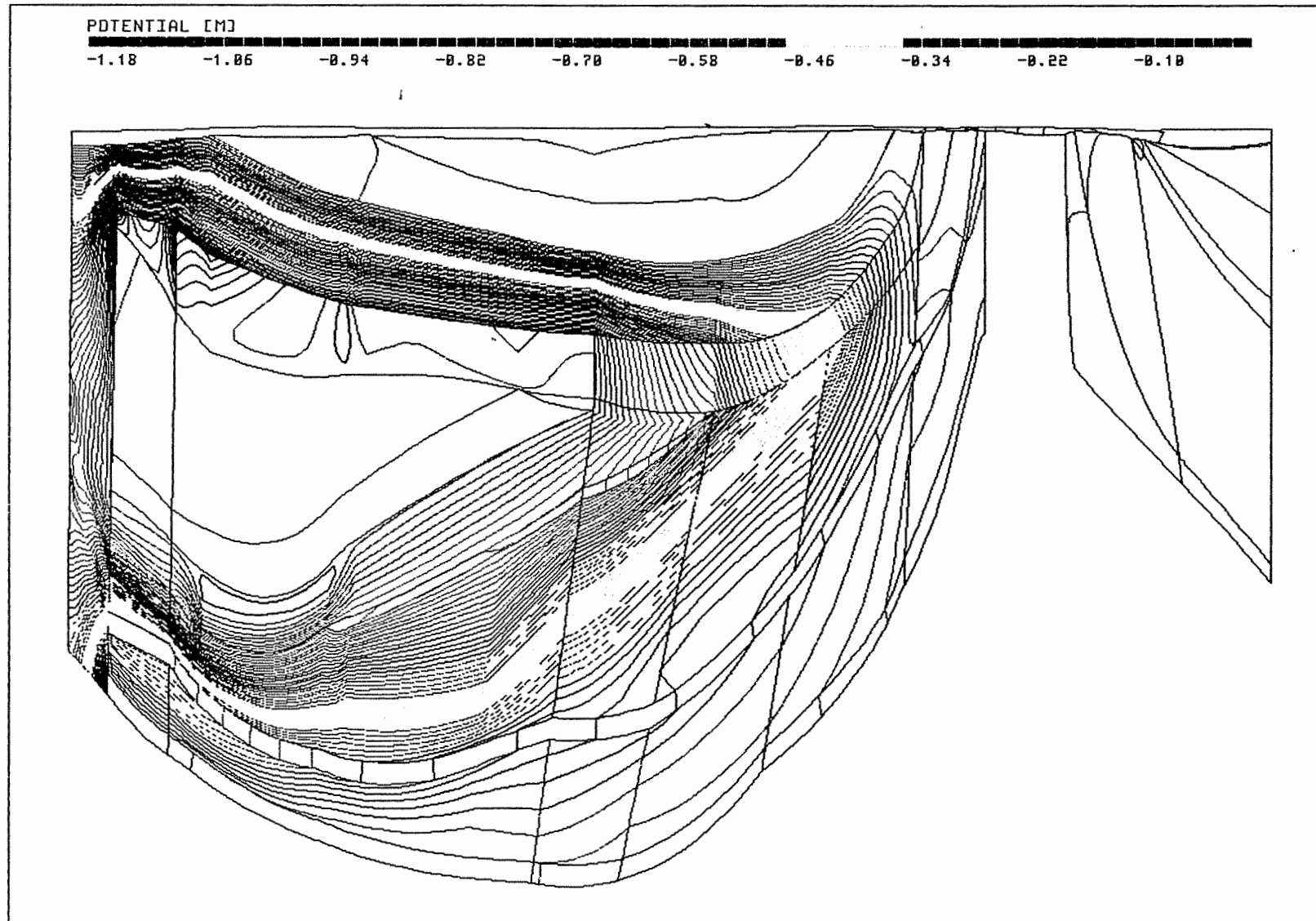
Anh. C12.3.2 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01,  
Schnitt 3

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT4.EL R12-R01.DIF 177/0



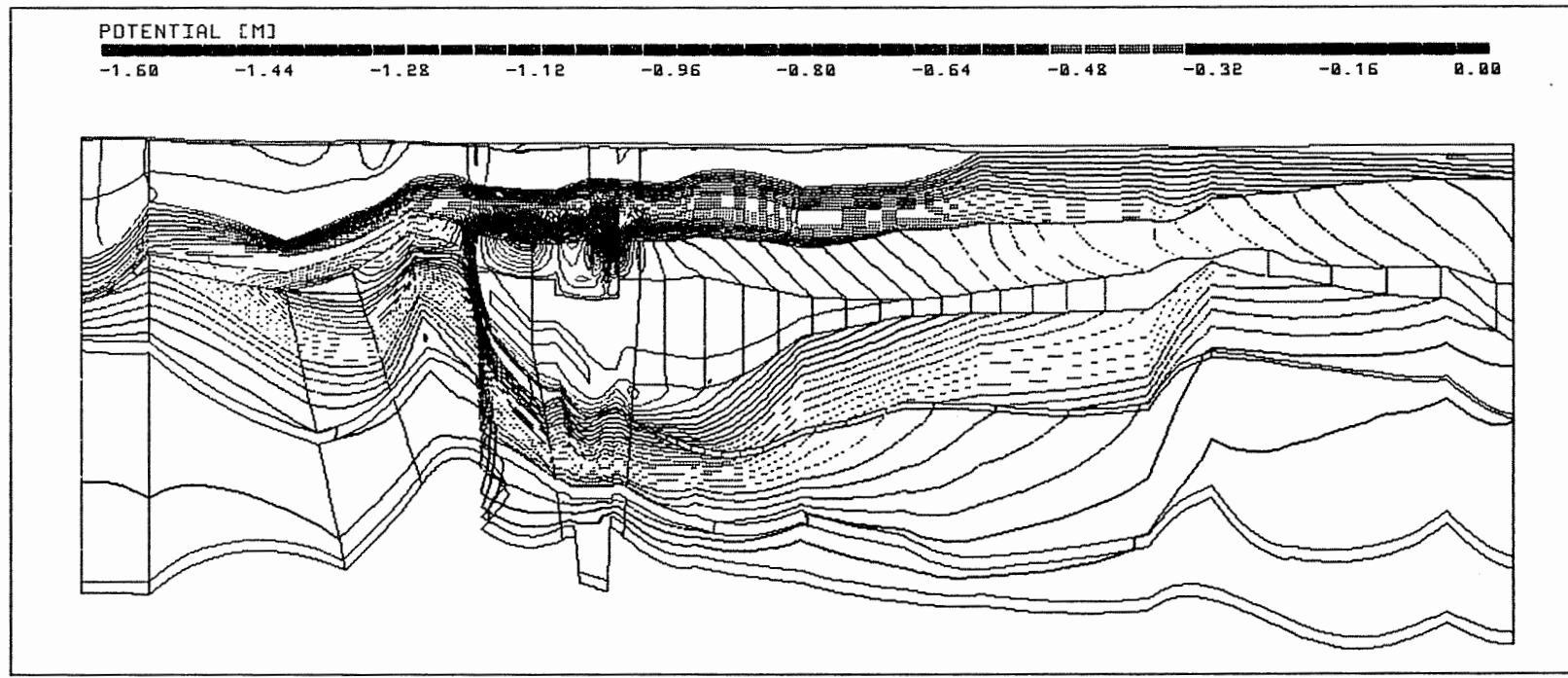
Anh. C12.3.3 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01,  
Schnitt 4

PTB.XYZ(Z\*3.0) SCHNITT5.EL R12-R01.DIF 186/0



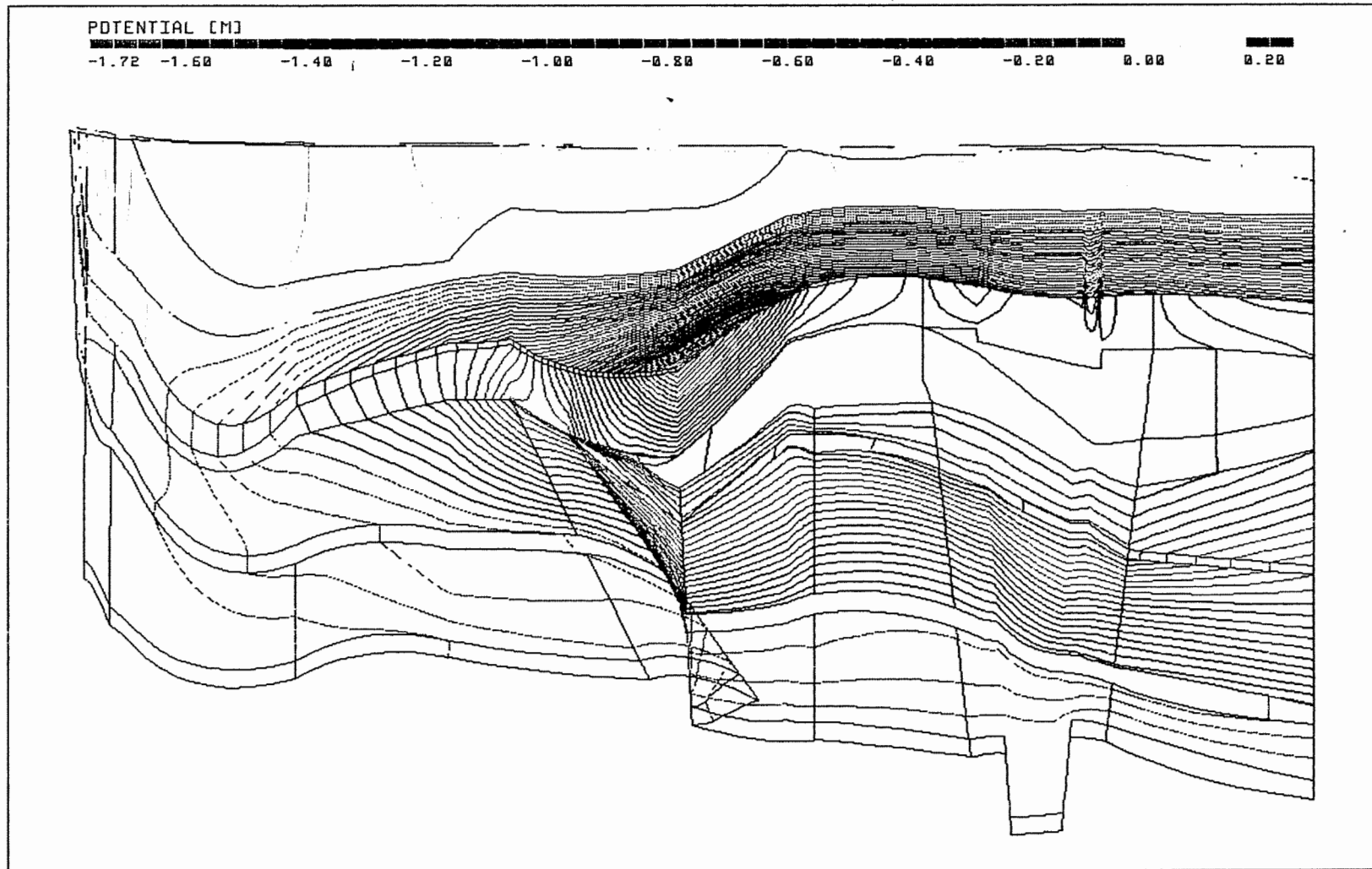
Anh. C12.3.4 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01, Schnitt 5

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT8\_9.EL R12-R01.DIF 96/0



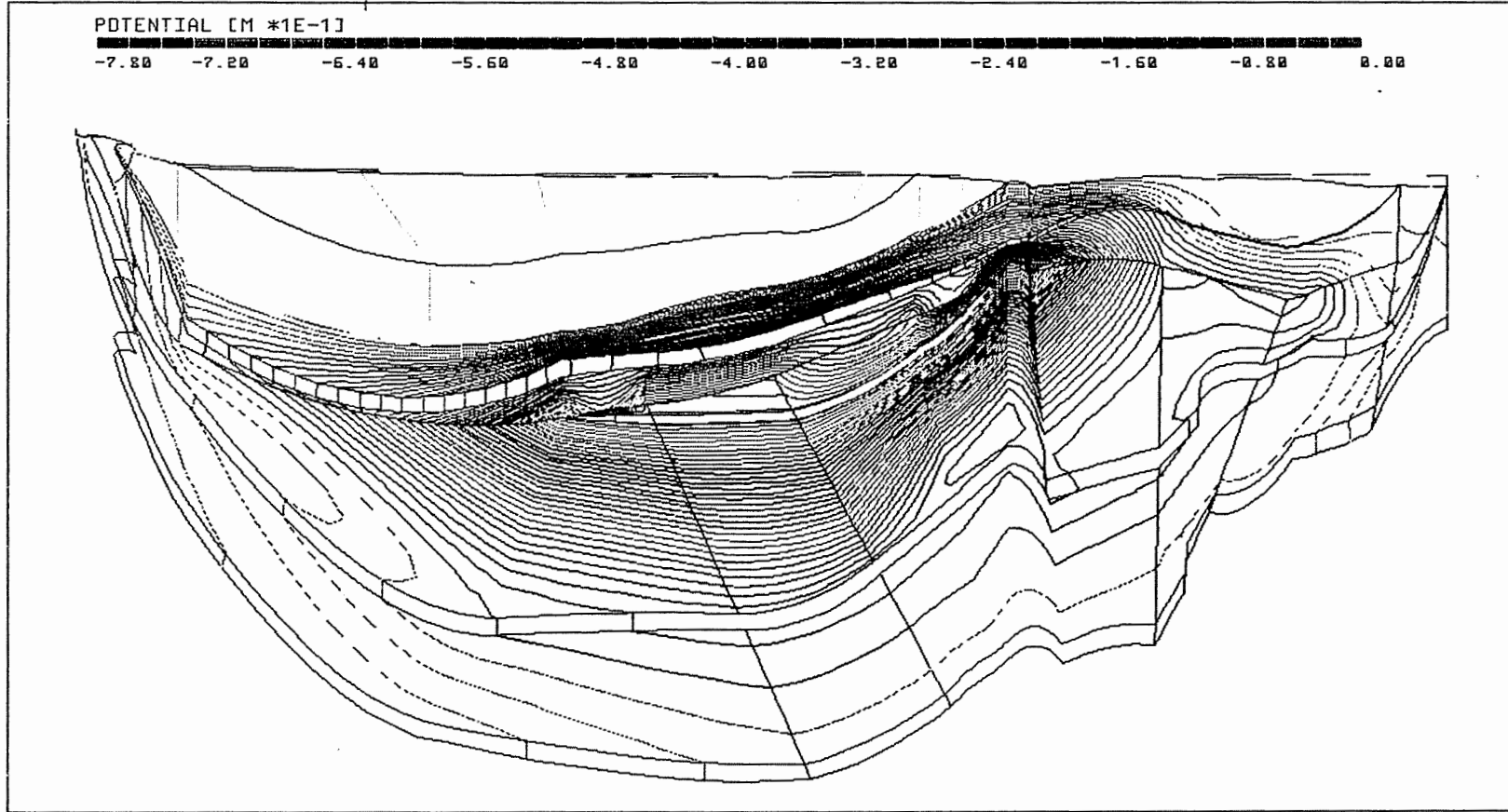
Anh. C12.3.5 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01,  
Schnitt 8-9

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT12.EL R12-R01.DIF 111/0



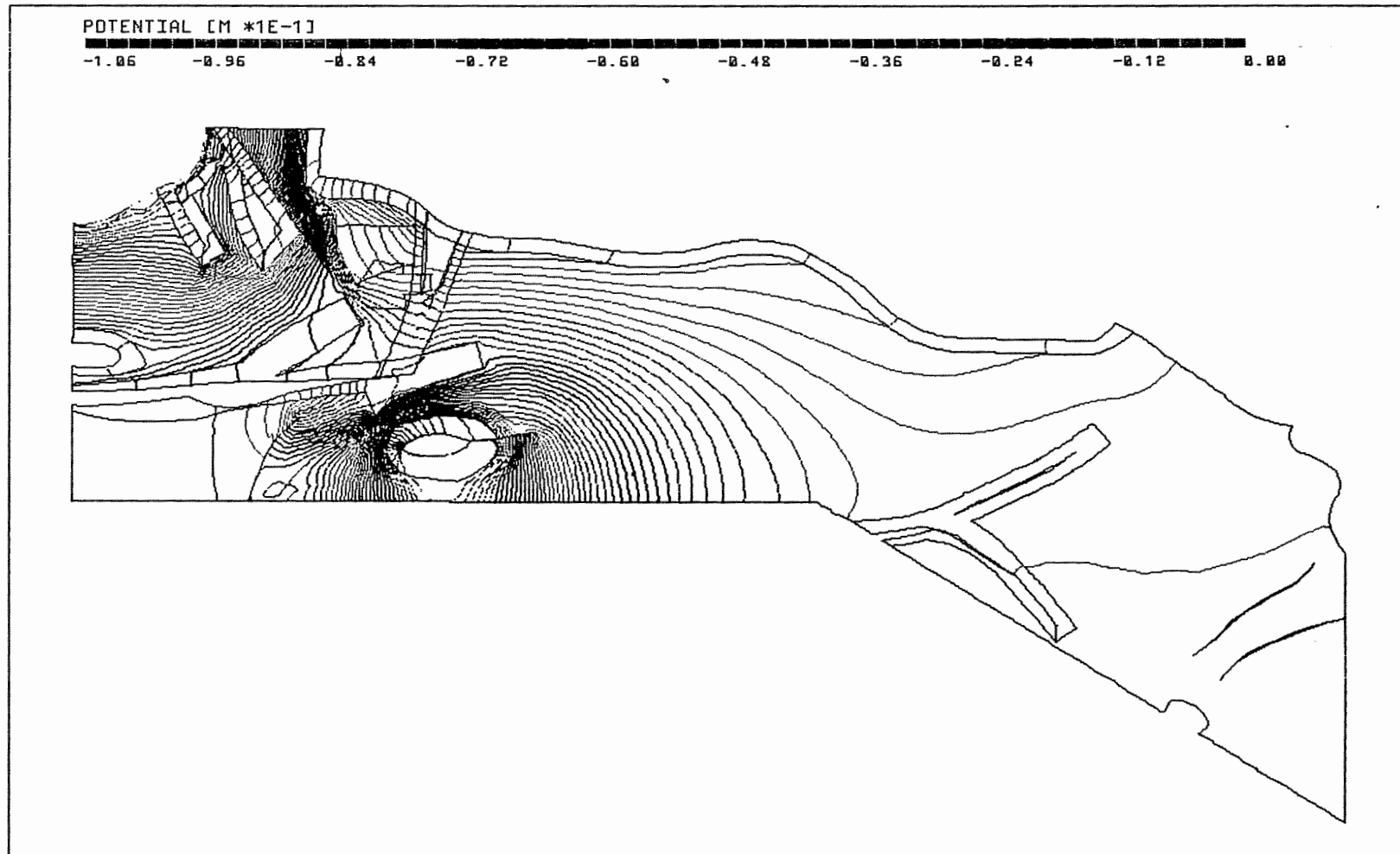
Anh. C12.3.6 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01,  
Schnitt 12

PTB.XYZ(Z\*3.0) CUT13.EL R12-R01.DIF 125/0



Anh. C12.3.7 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01, Schnitt 13

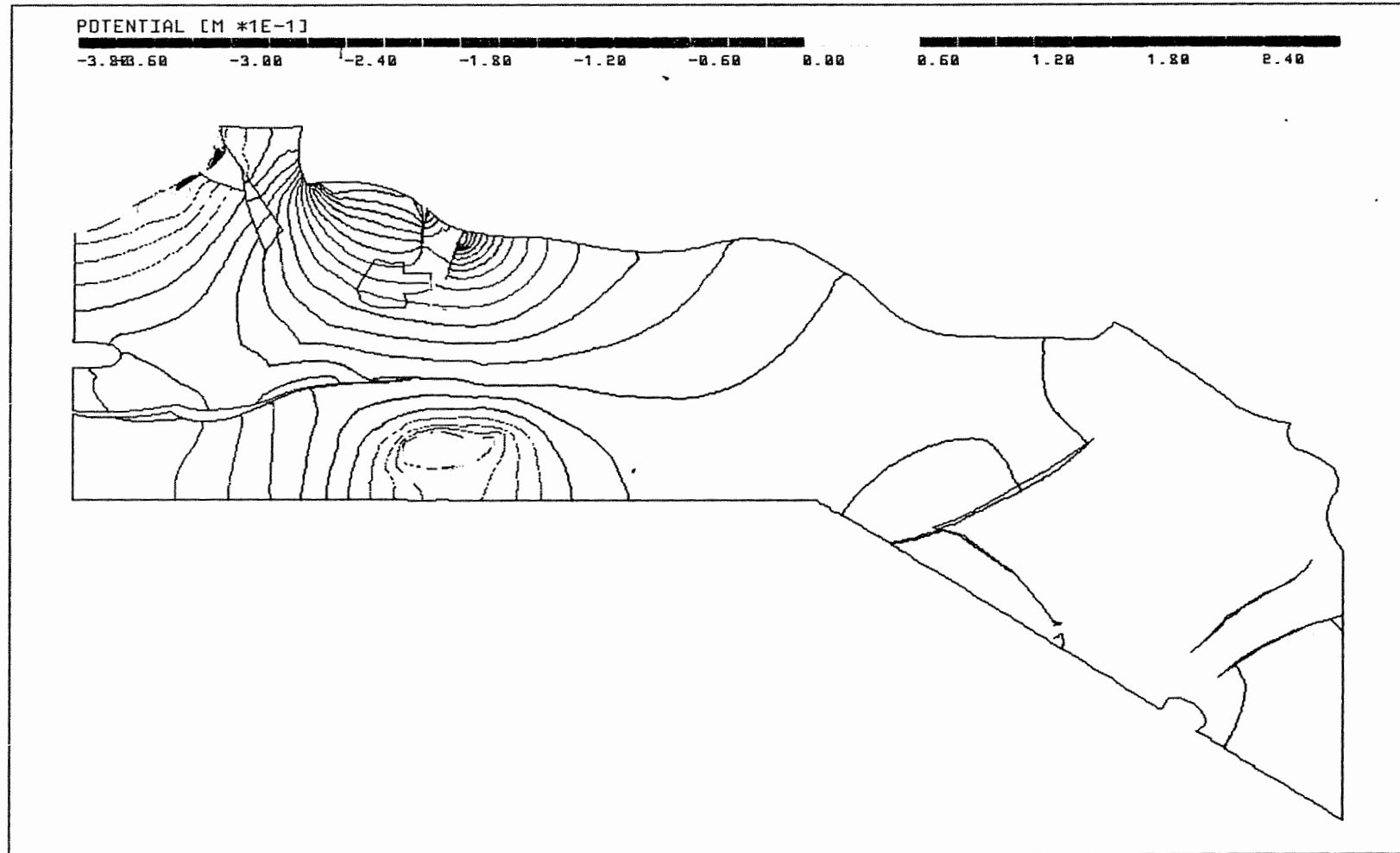
PTB.XYZ(Z\*3.0) MO\_BOT.EL R12-R01.DIF 90/90



Anh. C12.4.1 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01  
an der Basis des Oberen Muschelkalks

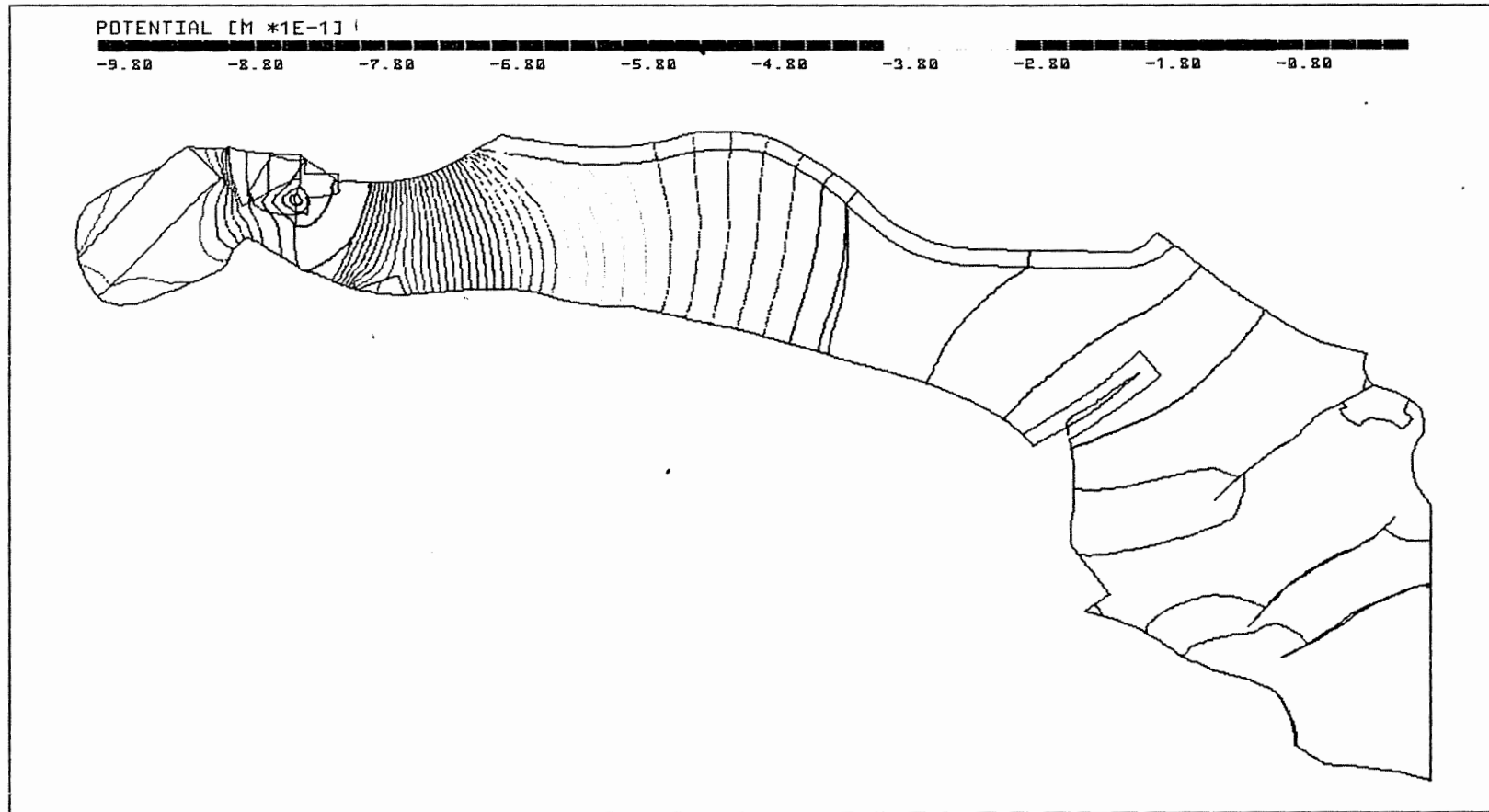


PTB.XYZ(Z\*3.0) KO\_BOT.EL R12-R01.DIF 90/90



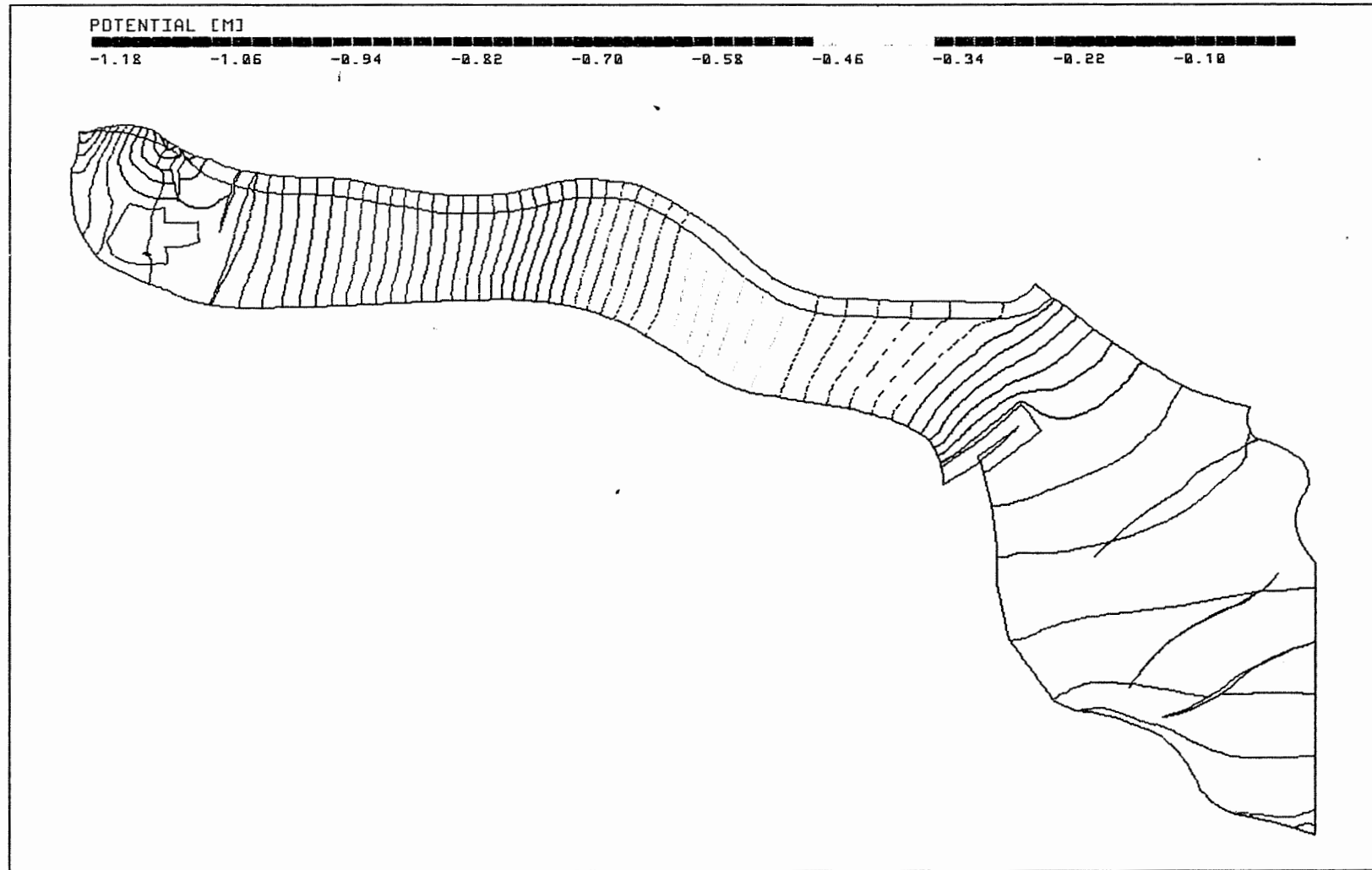
Anh. C12.4.2 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01  
an der Basis des Rhät

PTB.XYZ(Z\*3.0) C\_BOT.EL R12-R01.DIF 90/90



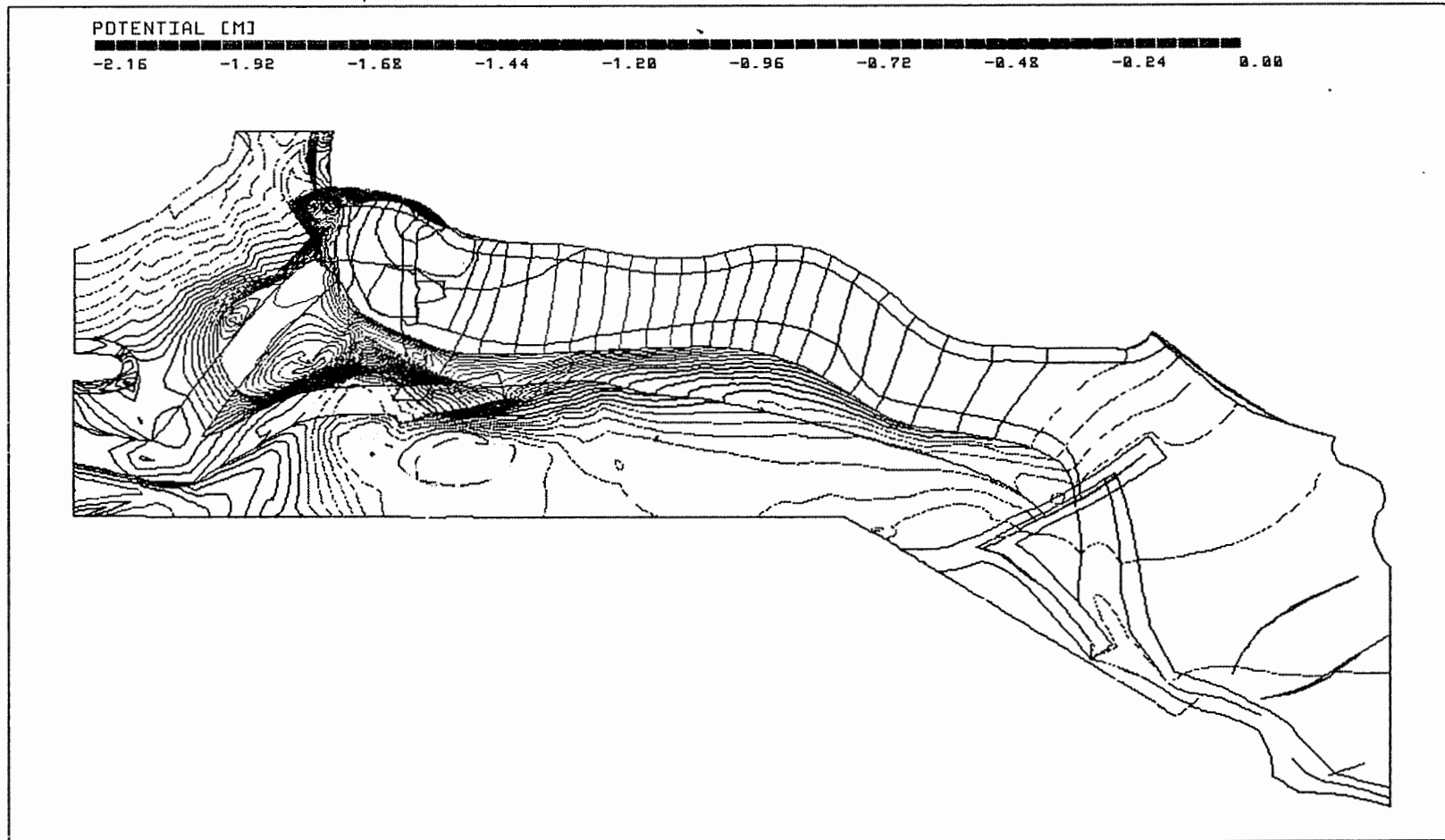
Anh. C12.4.3 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01  
an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ(Z\*3.0) OX\_BOT.EL R12-R01.DIF 90/90



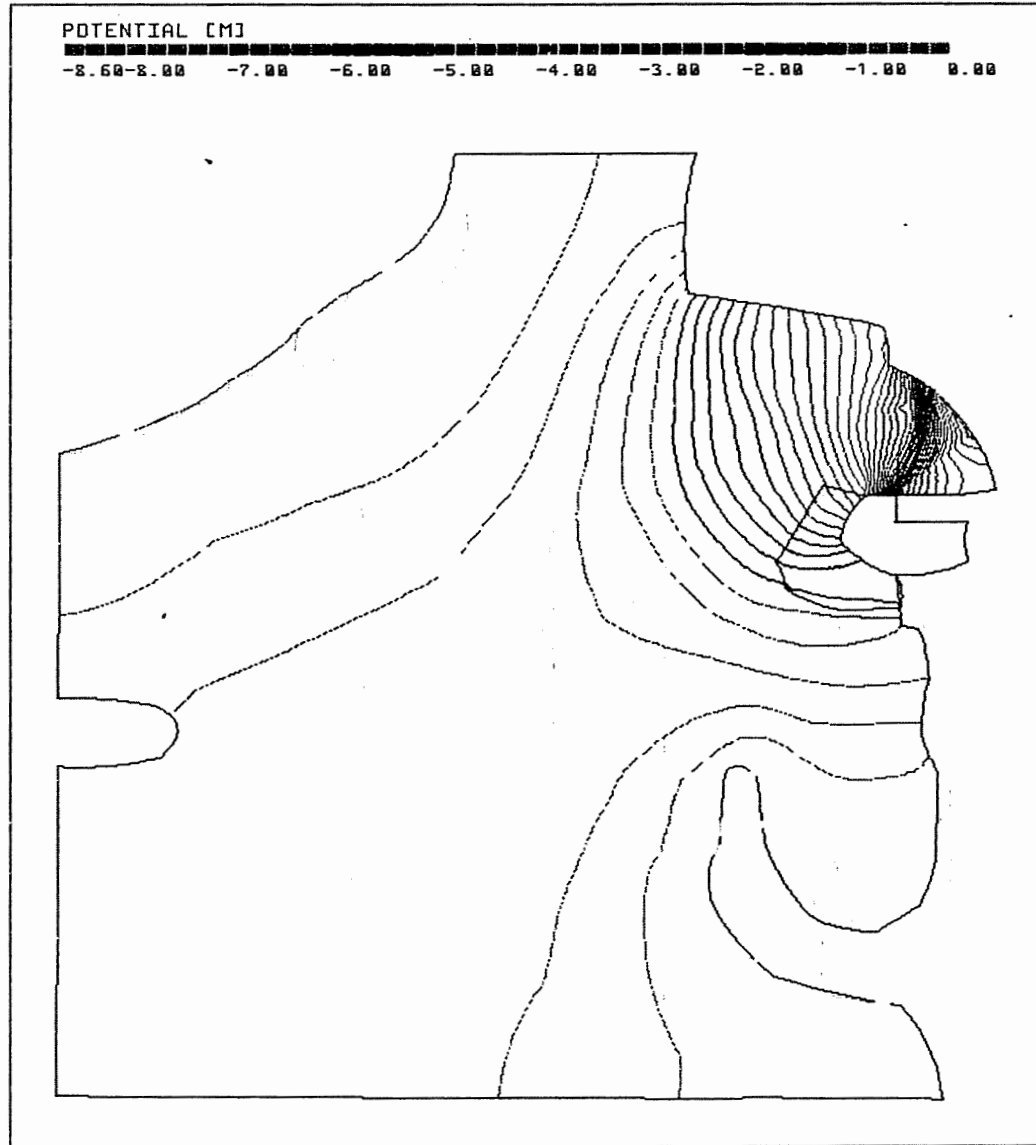
Anh. C12.4.4 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01  
an der Basis des Oxford

PTB.XYZ(Z\*3.0) KRU\_BOT.EL R12-R01.DIF 90/90



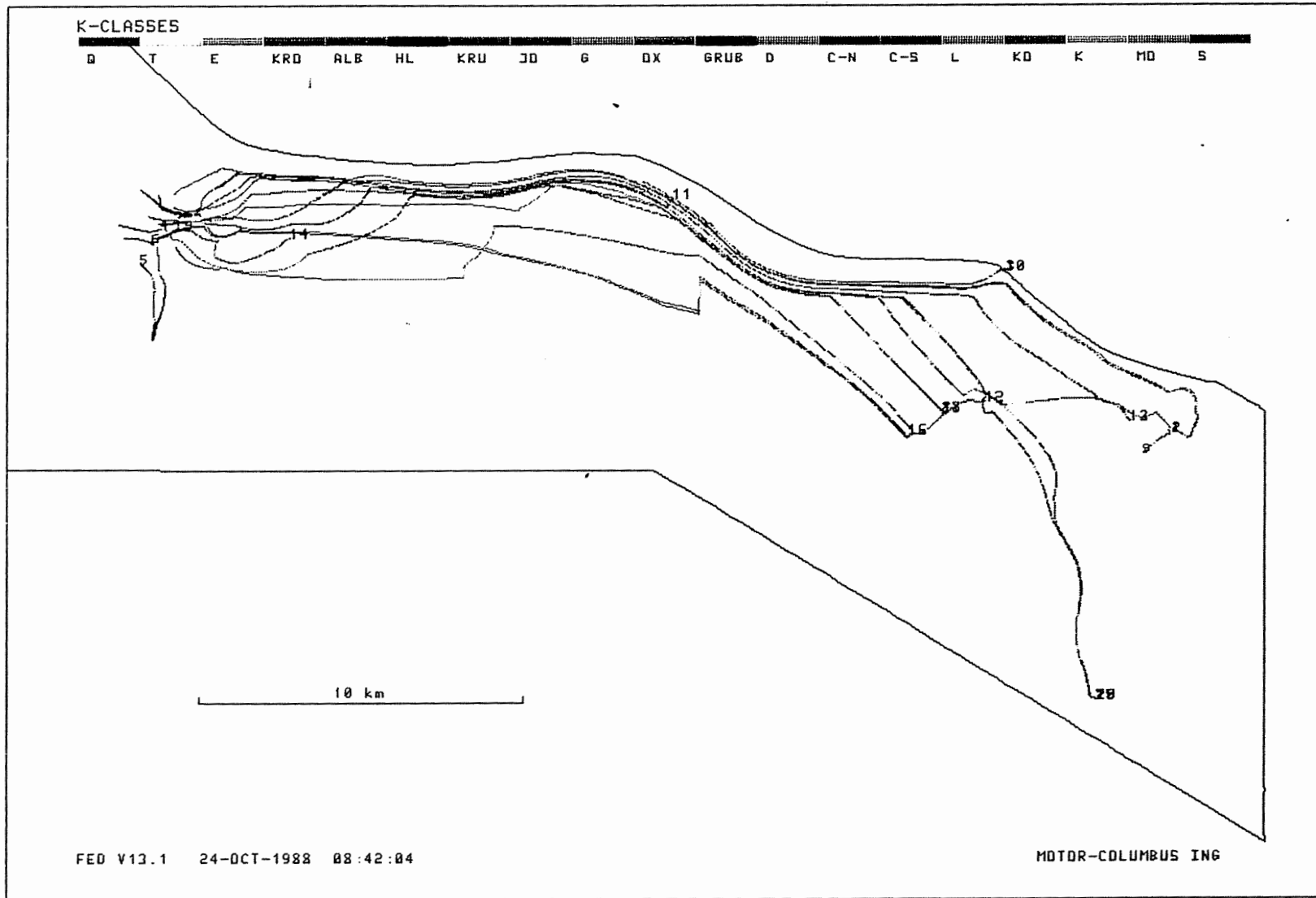
Anh. C12.4.5 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01  
an der Basis der Unterkreide

PTB.XYZ(Z\*3.0) HL\_BOT.EL R12-R01.DIF 90/90



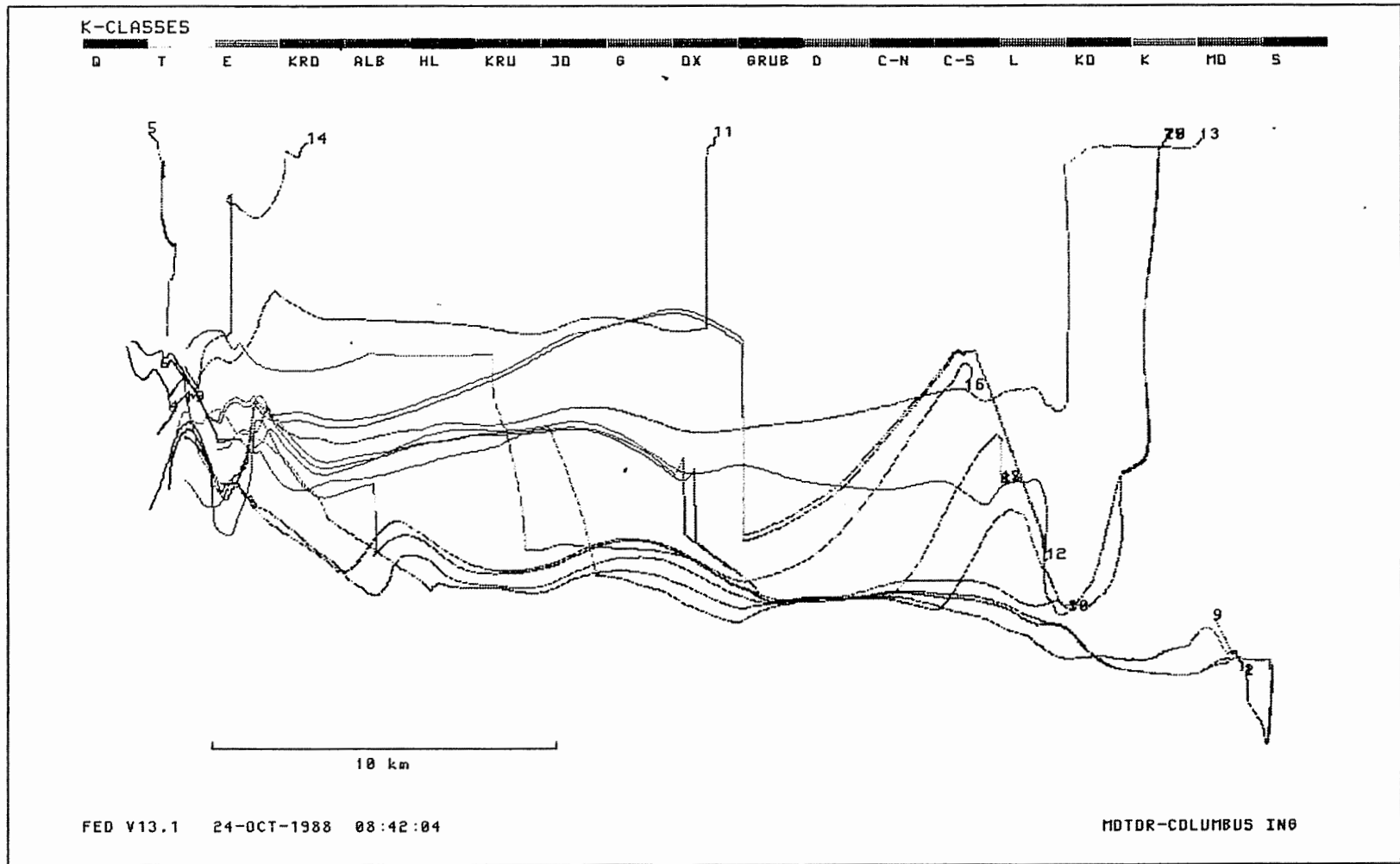
Anh. C12.4.6 Rechenfall R12: Potentialunterschiede R12-R01  
an der Basis des Hilssandsteins

R12: FLIESSWEGE (GRUNDRISS)



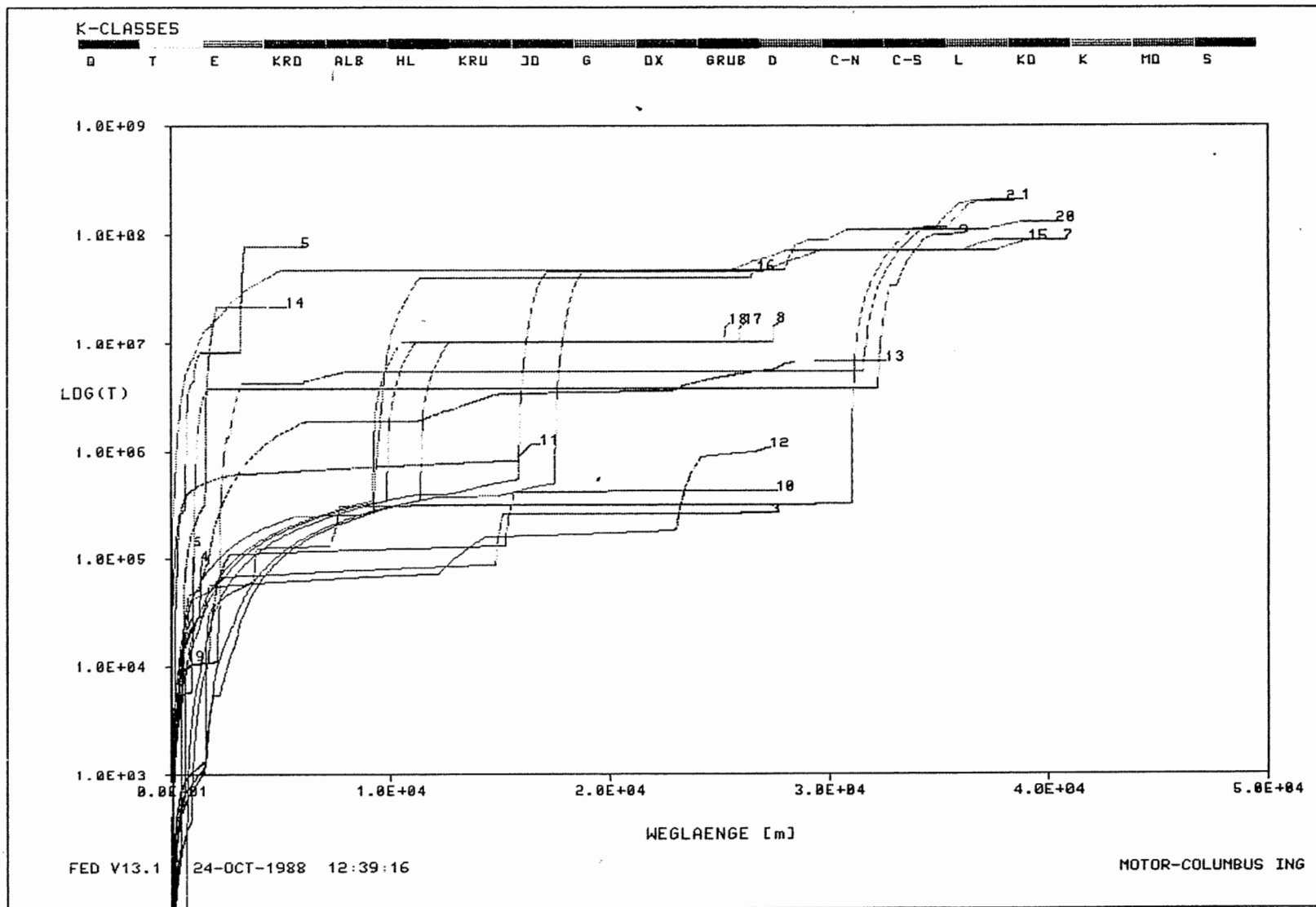
Anh. C12.5.1 Rechenfall R12: Fliesswege im Grundriss

R12: FLIESSWEGE (AUFRISS, 8-FACH UEBERHOEHT)



Anh. C12.5.2 Rechenfall R12: FlieSSwege im Aufriss

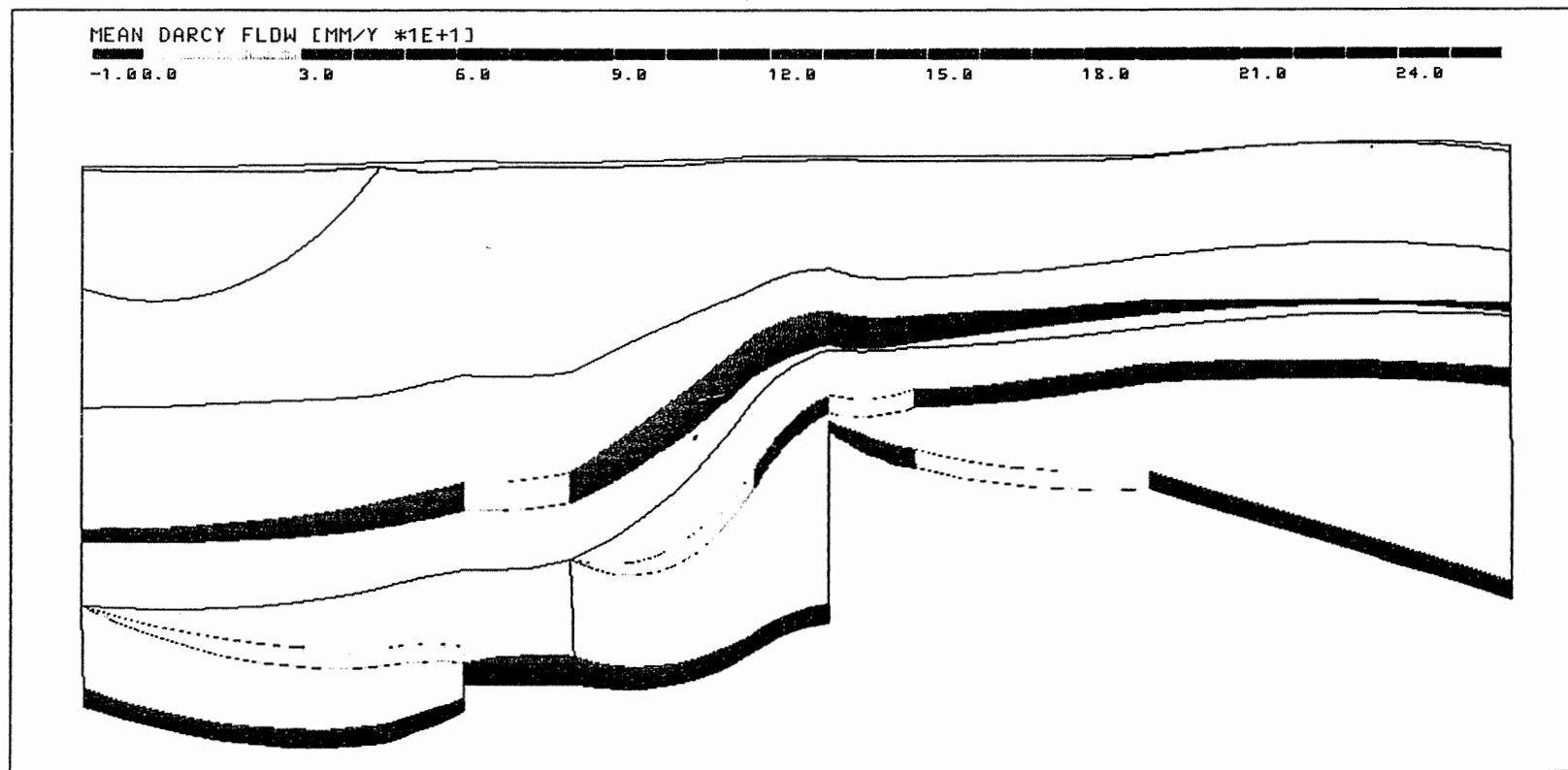
R12: WEG-ZEIT-DIAGRAMM DER FIESSWEGE



Anh. C12.5.3 Rechenfall R12: Weg-Zeit-Diagramm der Fließwege  
(Zeit im logarithmischen Massstab)



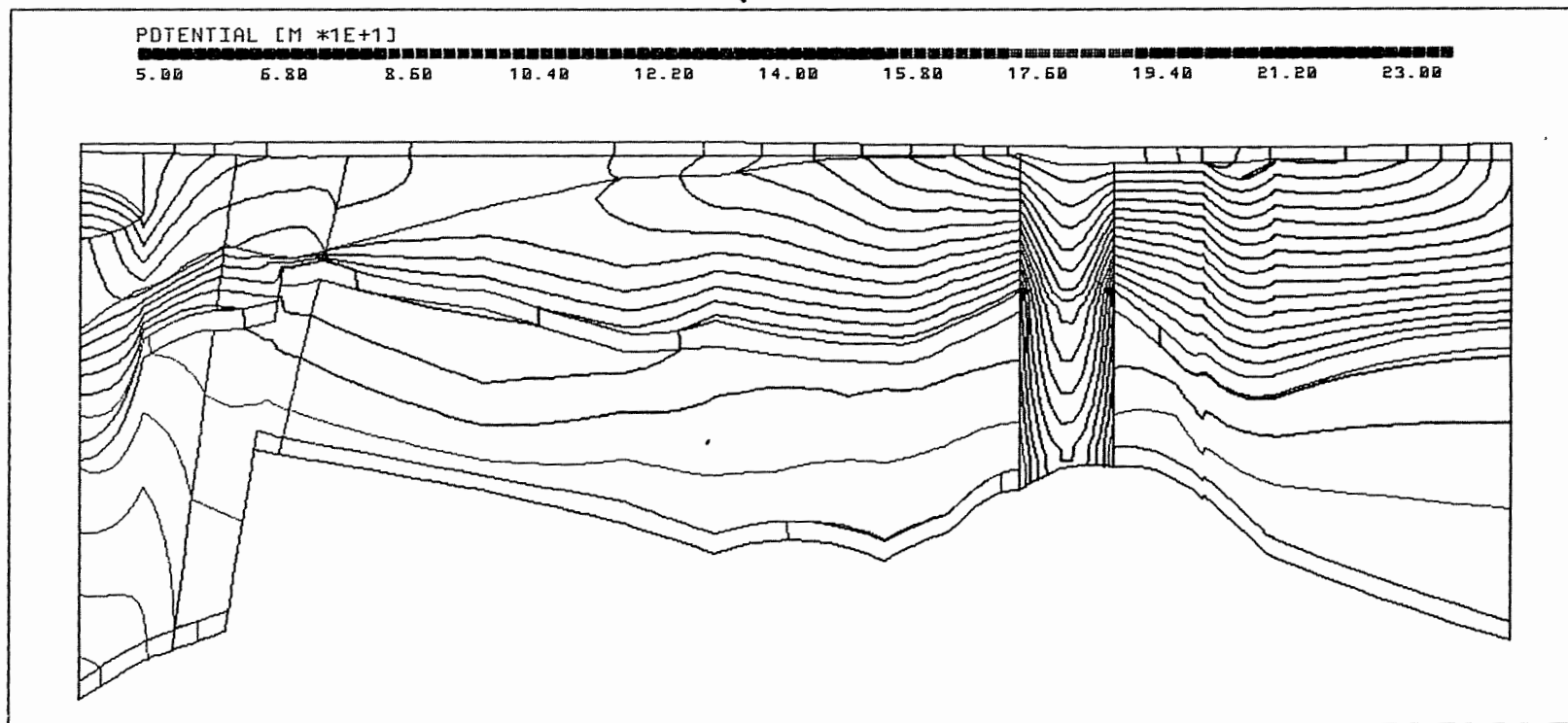
R12: MITTLERER DURCHFLUSS DURCH SCHNITT1 (2-FACH UEBERHOEHT) 236/0



Anh. C12.6.1 Rechenfall R12: Flüsse durch die Wasserleiter des Schnittes 1

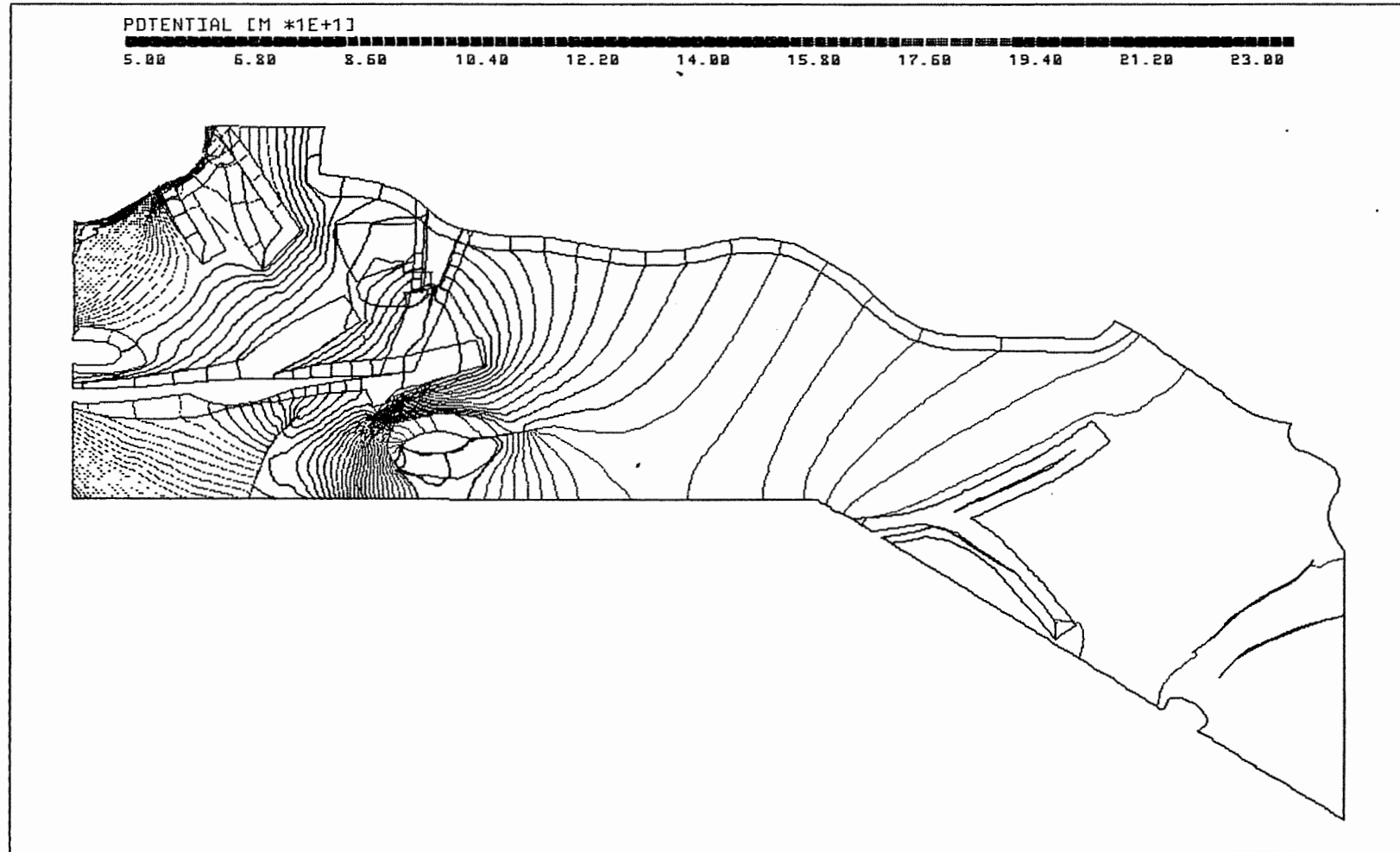
13	<b>Rechenfall R13</b>
13.1	<u>Potentiale, Schnitte</u>
13.1.1	Schnitt 17
13.2	<u>Potentiale, Basisflächen von Schichteinheiten</u>
13.2.1	Basis Oberer Muschelkalk
13.2.2	Basis Rhät
13.3	<u>Potentialunterschiede R11-R13, Schnitte</u>
13.3.1	Schnitt 15
13.3.2	Schnitt 16
13.3.3	Schnitt 17
13.4	<u>Potentialunterschiede R11-R13, Basisflächen von Schichteinheiten</u>
13.4.1	Basis Oberer Muschelkalk
13.4.2	Basis Rhät
13.4.3	Basis Cornbrash-Sandstein
13.4.4	Basis Oxford
13.5	<u>Fliesswege</u>
13.5.1	Grundriss
13.5.2	Aufriss
13.5.3	Weg-Zeit-Diagramm (Zeit im logarithmischen Massstab)

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT17.EL PTB\_R13.RES 122/0



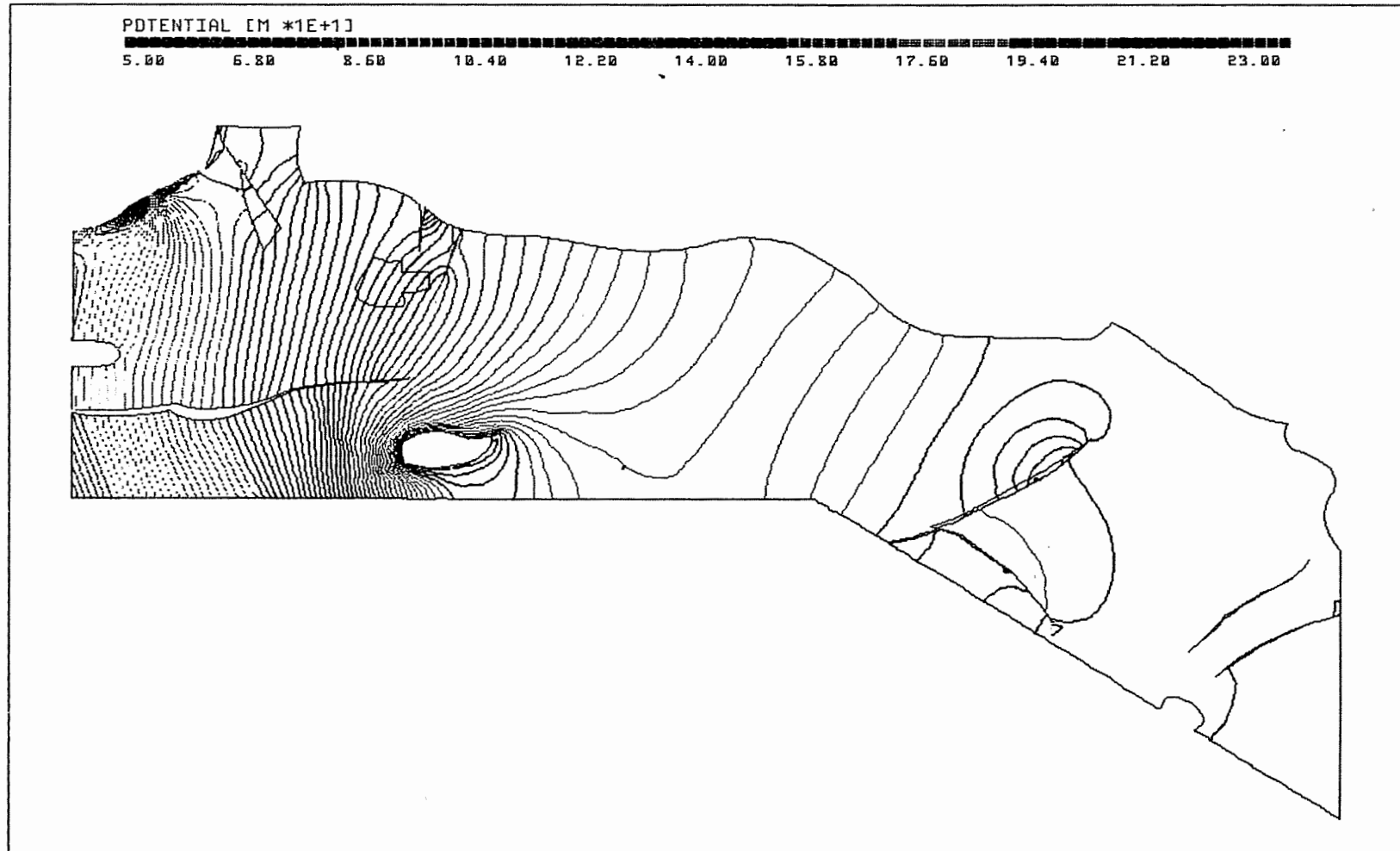
Anh. C13.1.1 Rechenfall R13: Potentiale im Schnitt 17

PTB.XYZ(Z\*5.0) MO\_BOT.EL PTB\_R13.RES 90/90



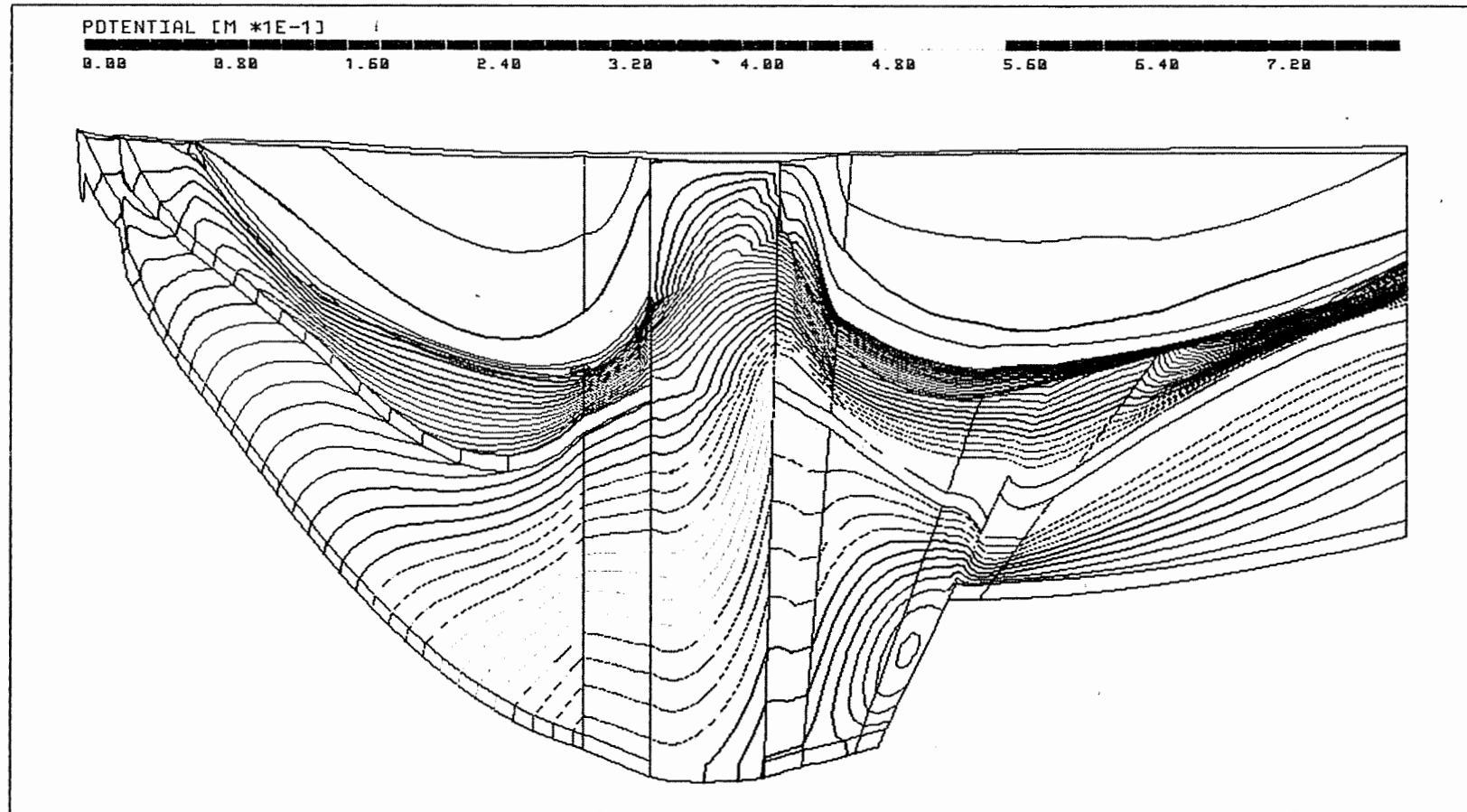
Anh. C13.2.1 Rechenfall R13: Potentiale an der Basis des Oberen Muschelkalks

PTB.XYZ(Z\*5.0) KO\_BOT.EL PTB\_R13.RES 90/90



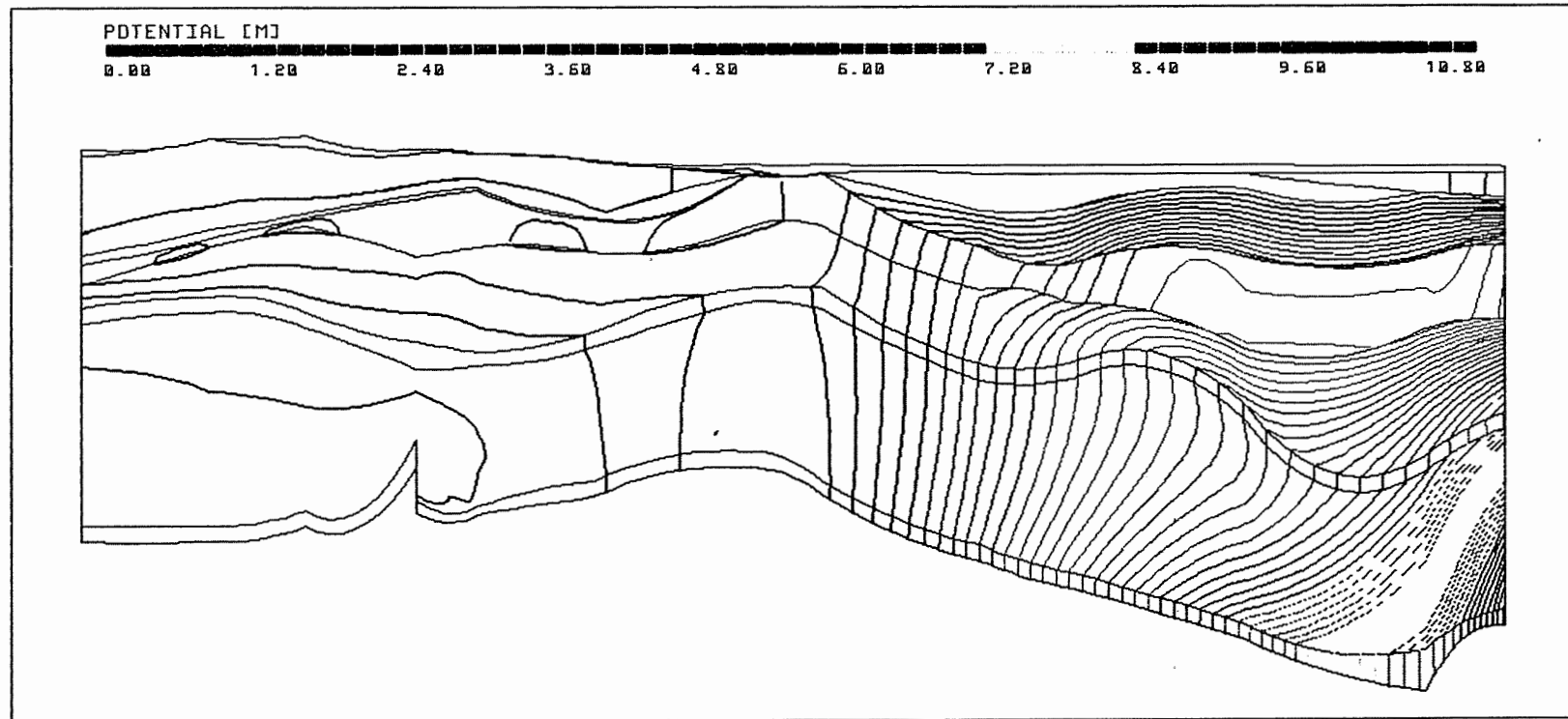
Anh. C13.2.2 Rechenfall R13: Potentiale an der Basis des Rhät

PTB.XYZ(Z\*2.0) CUT15.EL R11-R13.DIF 180/0



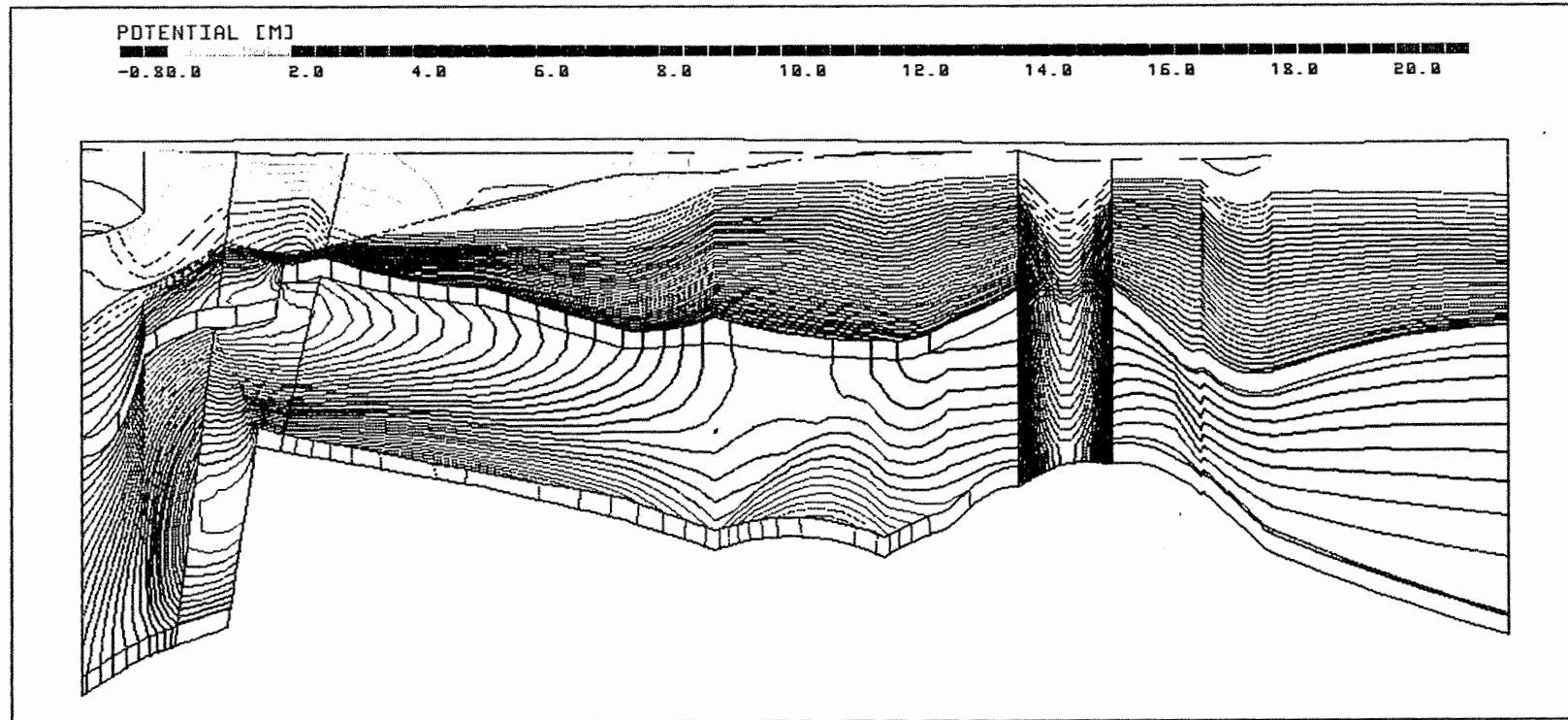
Anh. C13.3.1 Rechenfall R13: Potentialunterschiede R11-R13, Schnitt 15

PTB.XYZ(Z\*5.0) CUT16.EL R11-R13.DIF 90/0



Anh. C13.3.2 Rechenfall R13: Potentialunterschiede R11-R13, Schnitt 16

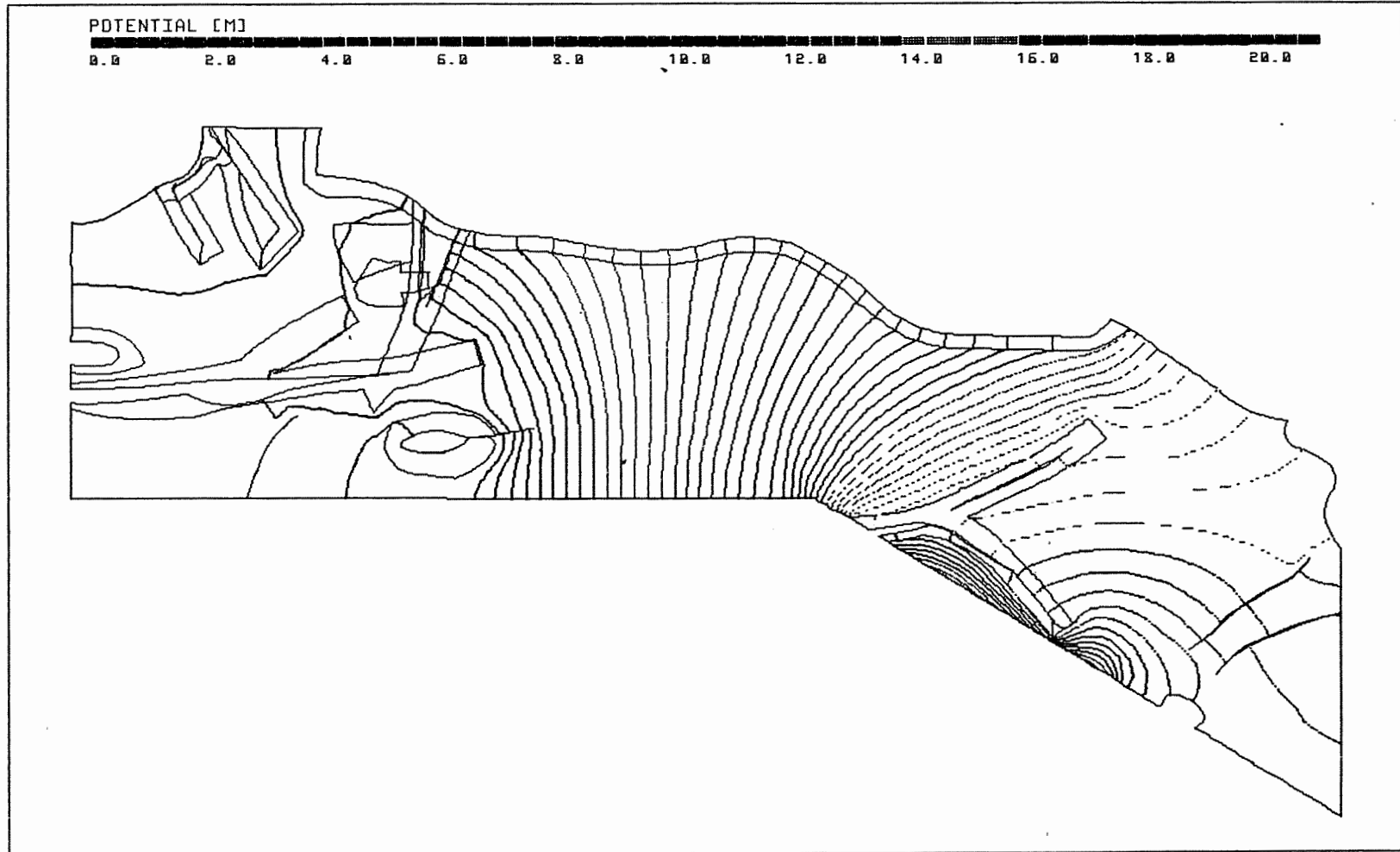
PTB'.XYZ(Z\*5.0) CUT17.EL R11-R13.DIF 122/0



Anh. C13.3.3 Rechenfall R13: Potentialunterschiede R11-R13, Schnitt 17

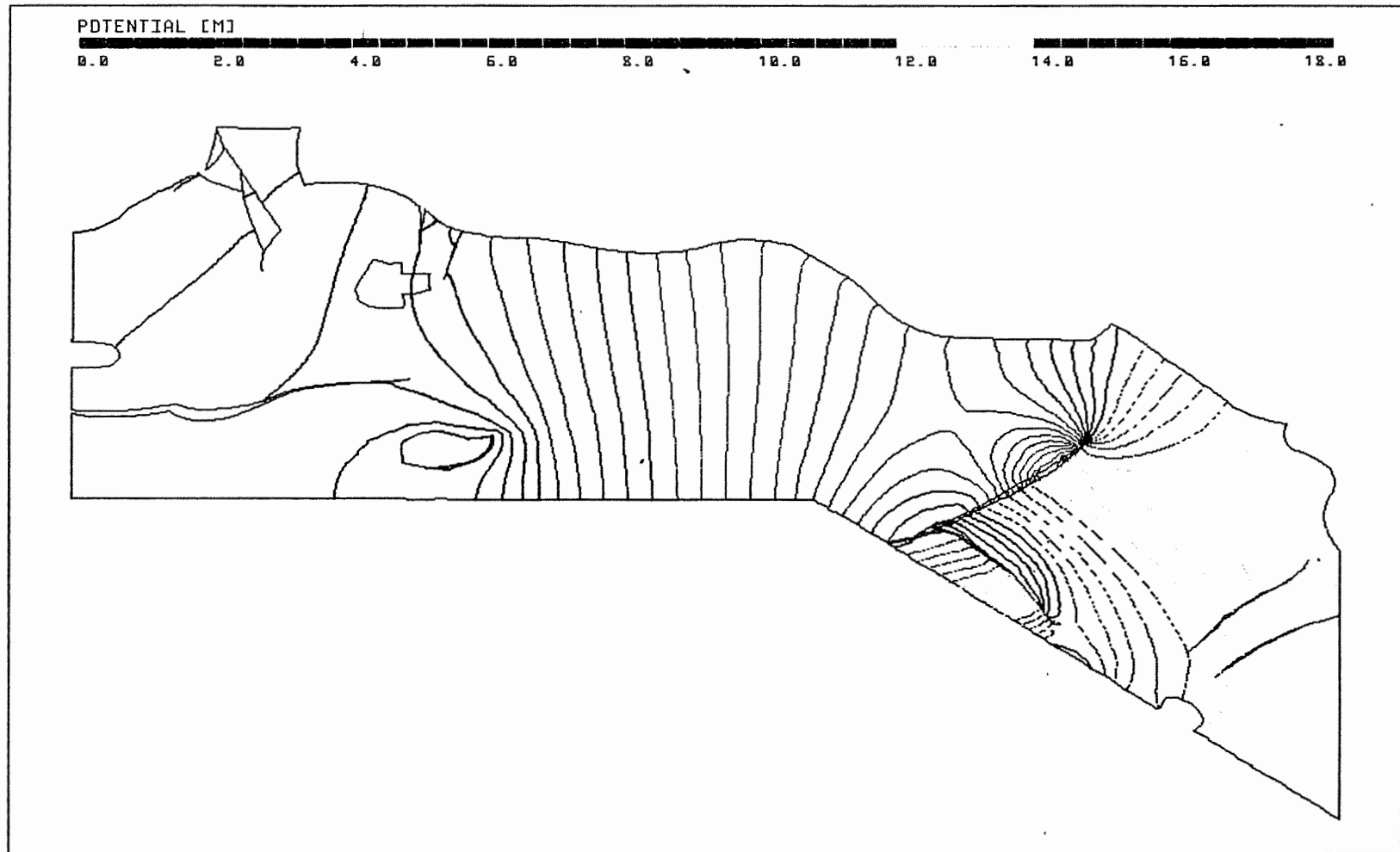


PTB.XYZ(Z\*5.0) MO\_BOT.EL R11-R13.DIF 90/90



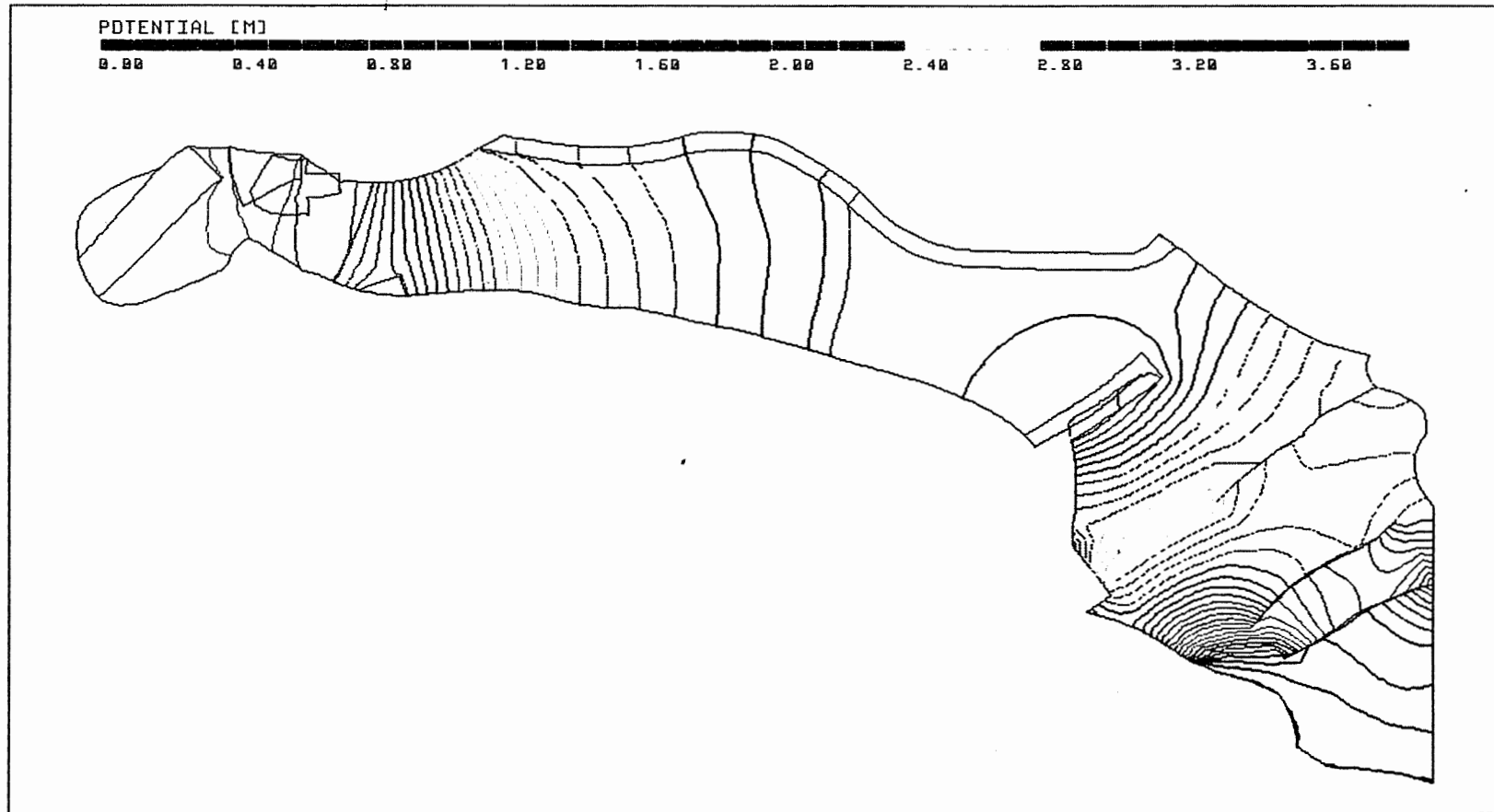
Anh. C13.4.1 Rechenfall R13: Potentialunterschiede R11-R13,  
an der Basis des Ob@ren Muschelkalks

PTB.XYZ(Z\*5.0) KO\_BOT.EL R11-R13.DIF 90/90



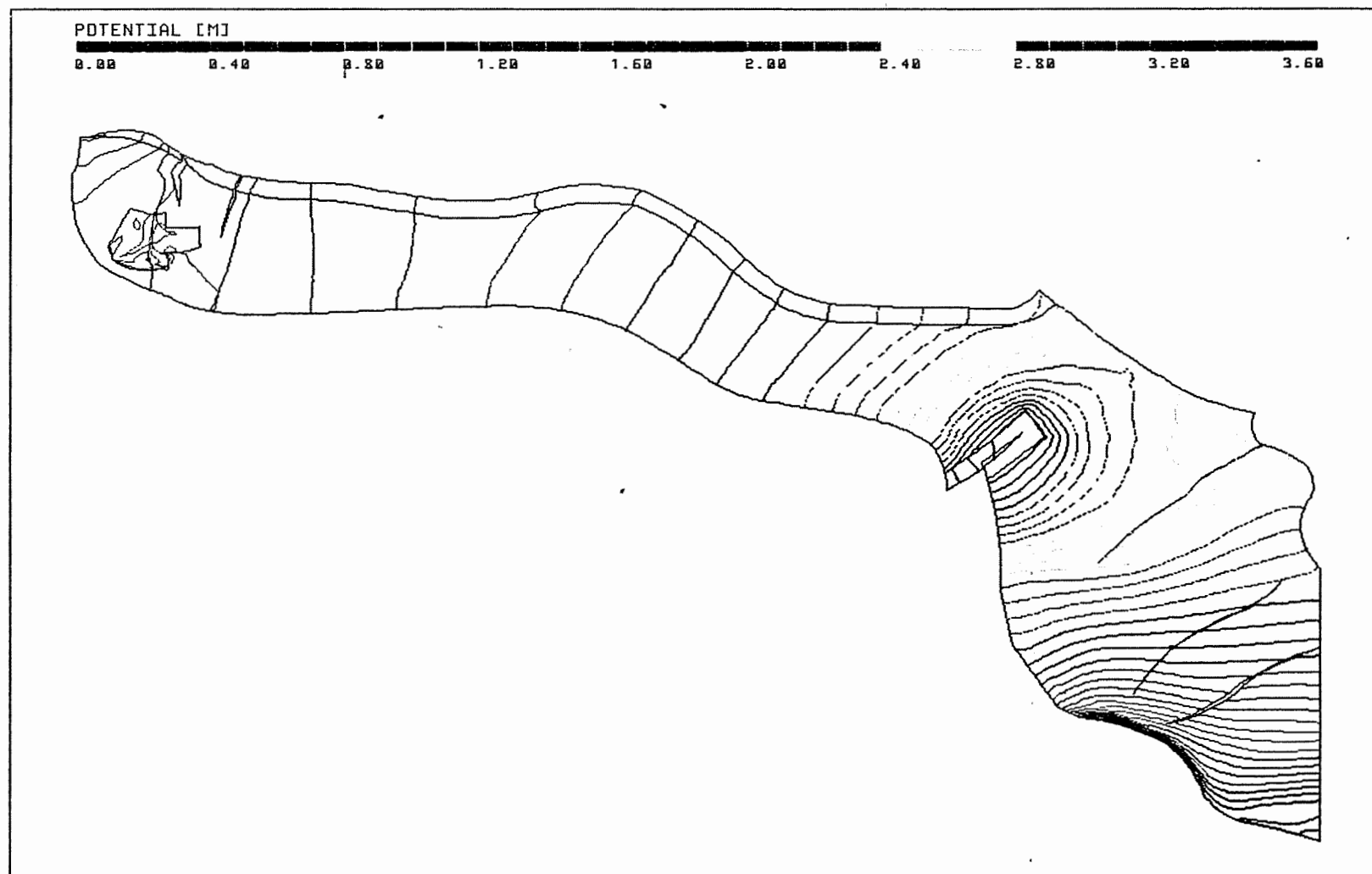
Anh. C13.4.2 Rechenfall R13: Potentialunterschiede R11-R13,  
an der Basis des Rhät

PTB.XYZ(Z\*5.0) C\_BOT.EL R11-R13.DIF 90/90



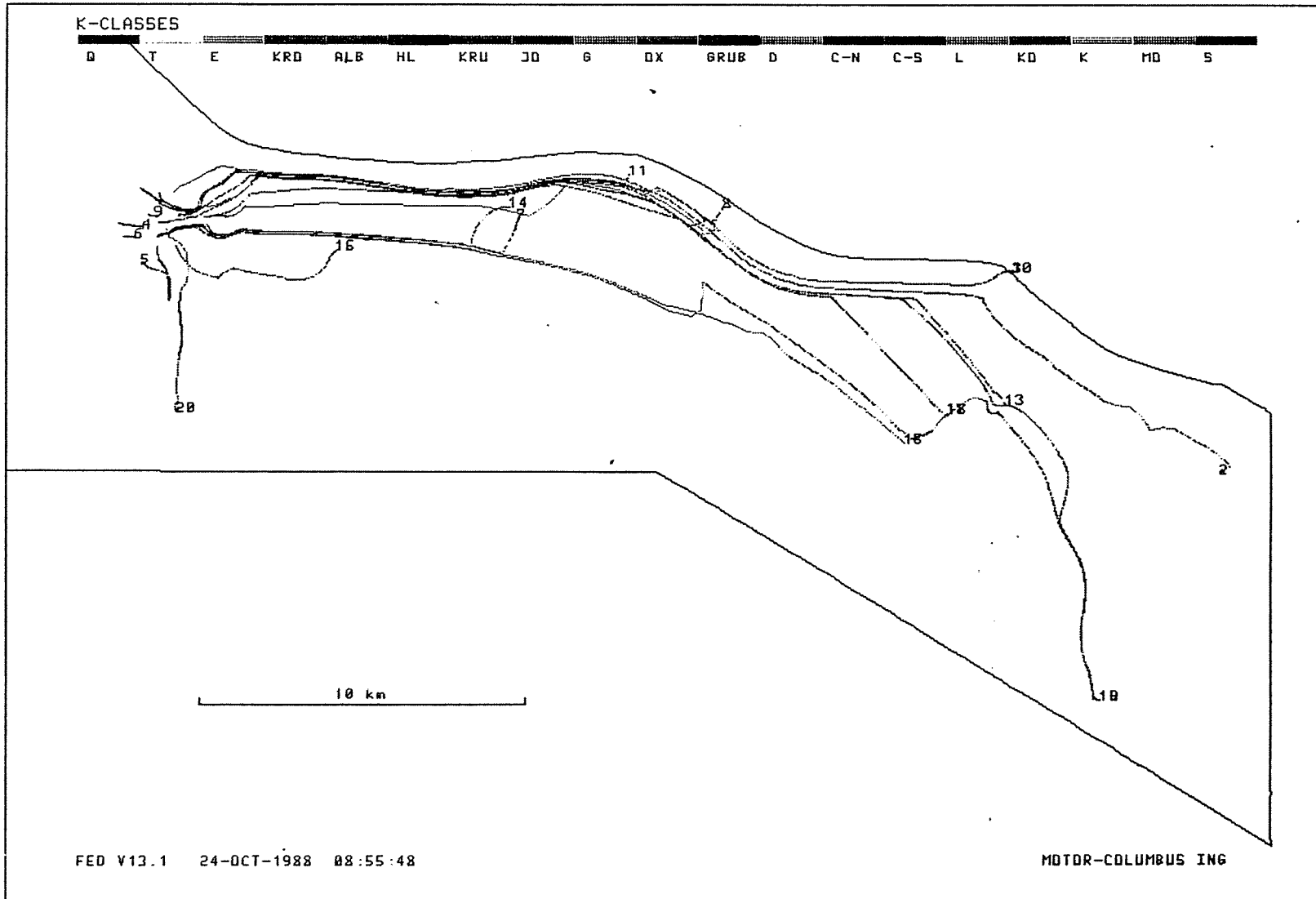
Anh. C13.4.3 Rechenfall R13: Potentialunterschiede R11-R13,  
an der Basis des Cornbrash-Sandsteins

PTB.XYZ(Z\*5.0) OX\_BOT.EL R11-R13.DIF 90/90



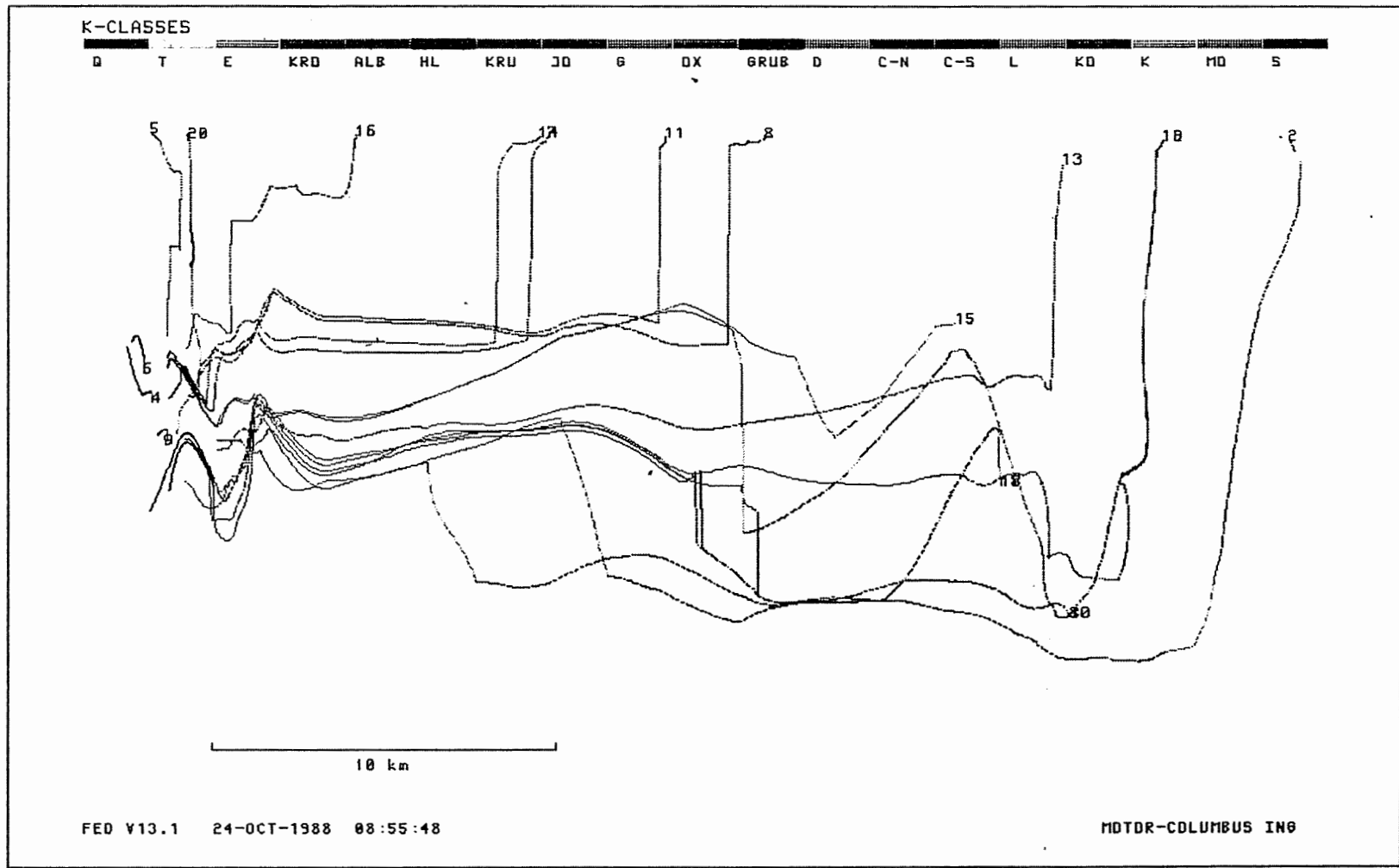
Anh. C13.4.4 Rechenfall R13: Potentialunterschiede R11-R13,  
an der Basis des Oxford

R13: FLIESSWEGE (GRUNDRISS)



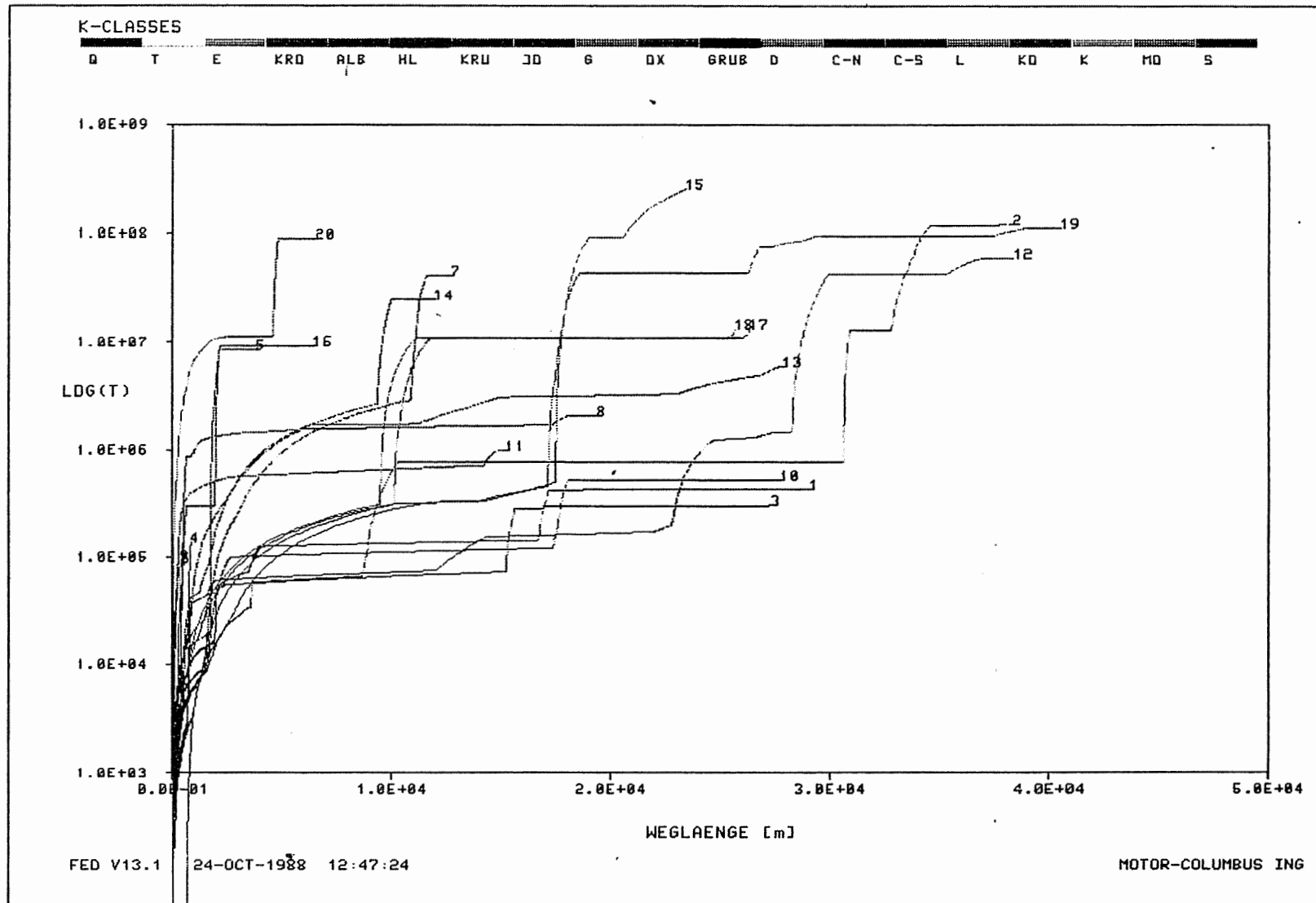
Anh. C13.5.1 Rechenfall R13: Fließwege im Grundriss

R13: FLIESSWEGE (AUFRISS, 8-FACH UEBERHOEHT)



Anh. C13.5.2 Rechenfall R13: FlieSSwege im Aufriss

R13: WEG-ZEIT-DIAGRAMM DER FIESSWEGE



Anh. C13.5.3 Rechenfall R13: Weg-Zeit-Diagramm der Fließwege  
(Zeit im logarithmischen Massstab)